

Monitoring von Kleinmusteliden, Schläfern und anderen Kleinsäugern
—
Weiterentwicklung der Nachweismethoden mit Fotofalle



Bachelorarbeit

von

Aegerter Silvio

Bachelorstudiengang 2016

Umweltingenieurwesen

24. Oktober 2019

Fachkorrektoren:

Dr. Stefan Suter
ZHAW, IUNR, Schloss, 8820 Wädenswil

Prof. Dr. Roland Felix Graf
ZHAW, IUNR, Schloss, 8820 Wädenswil

Nils Ratnaweera
ZHAW, IUNR, Campus Grüental, Postfach, 8820 Wädenswil

Impressum

Autor

Silvio Aegerter
Obere Schwandenstrasse 16
8833 Samstagern

Schlagwörter

Mostela, Fotofalle, Nachweismethode, Kleinsäugetiere, Schläfer, Mauswiesel, Hermelin.

Zitiervorschlag

Aegerter, S. (2019). Monitoring von Kleinmusteliden, Schläfern und anderen Kleinsäugetern – Weiterentwicklung der Nachweismethoden mit Fotofalle. Bachelorarbeit. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil.

Titelbild

Hermelin (*Mustela erminea*) in Prototyp 7 (Kamera: Reconyx HP2W, Objektiv 7). *Quelle: Eigene Aufnahme im Rahmen des Monitorings von Wiesel & Co.*

Institut

Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
ZHAW Life Sciences und Facility Management
Grüntal
8820 Wädenswil

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Roland Weiss bedanken. Für den Bau der Prototypen stellte er mir seine Räumlichkeiten zur Verfügung und stand mir während der praktischen Umsetzung meiner Ideen stets mit seinem Fachwissen zur Seite.

Annette Stephani danke ich vielmals für ihre fachliche Einschätzung bezüglich der Bestimmbarkeit von Kleinsäugern.

Ein grosses Merci geht zudem an Philippe Zeller, für das Gegenlesen dieser Arbeit.

Weiter danke ich herzlich meiner Freundin, für ihr offenes Ohr und das von ihr, in den letzten Wochen und Monaten im Zusammenhang mit dieser Arbeit aufgebrachte Verständnis.

Ein ganz besonderer Dank gilt zudem meiner Familie, welche mir durch finanzielle Unterstützung das Studium ermöglicht hat.

Abstract

Many small mammals in Switzerland are difficult to detect directly, which is why little is known about their distribution and population changes. The use of trace tunnels has proved its worth in recent years for indirect detection. A promising alternative is the use of wildlife cameras. In order to exploit the full potential of these methods, there is still a need for optimisation. The aim of this work was the further development and optimization of the camera trap box "Mostela". The main focus was on the improvement of the handling and the image quality for the reliable determination of small mammals. So far only infrared flash camera traps were used in the Mostela. The images of these cameras are monochrome. Because the fur coloration is crucial for the differentiation of some small mammals, white flash camera traps for the admission of color photos were tested for the first time in the camera trap box. To further improve the image quality, various modifications for contrast and exposure optimization were tested in field trials. By converting the white flash camera traps, several attempts were made to adjust their focus and image angle, so that they could also be used in a smaller box. Using various building materials, it has been tried to construct more compact prototypes in a particularly handy design. By exchanging the lenses of the camera it was possible to adjust the focus and the angle of view, so that the built prototypes are only half as long as the Mostela. The most practical prototype can also be dismantled into its individual parts for transport and storage. As the prototypes weigh only a fraction of the Mostela, the dismantled box can easily be carried to remote places in a backpack. By using white flash camera traps and the adapted construction method, the image quality has been improved. The better image quality simplified the identification of small mammals. In the field tests, it was shown that a suitable background selection and the correct use of a flash diffuser can further improve the determinability of the animals. In order to be able to exploit the full potential of the detection method, the efficiency of image evaluation will have to be optimized in the future.

Zusammenfassung

Viele Kleinsäuger der Schweiz sind nur schwer direkt nachzuweisen, weshalb allgemein wenig über ihre Verbreitung und deren Bestandesänderungen bekannt ist. Für den indirekten Nachweis hat sich in den letzten Jahren der Gebrauch von Spurentunnel bewährt. Eine vielversprechende Alternative bieten Nachweismethoden mit Fotofallen. Um das ganze Potential dieser Methoden ausschöpfen zu können, besteht jedoch noch Optimierungsbedarf. Ziel dieser Arbeit war die Weiterentwicklung und Optimierung der Fotofallenbox «Mostela». Hauptaugenmerk lag dabei auf der Verbesserung der Handhabung, sowie der Verbesserung der Bildqualität zur zuverlässigen Bestimmung von Kleinsäu- gern. Bisher wurden in der Mostela lediglich Infrarotblitzfotofallen verwendet. Die Aufnahmen dieser Kameras sind monochrom. Weil für die Unterscheidung einiger Kleinsäuger die Fellfärbung ent- scheidend ist, wurde zur Erhöhung der Bildqualität erstmals Weissblitzfotofallen zur Aufnahme von Farbfotos getestet. Zur weiteren Verbesserung der Bildqualität konnte in Feldversuchen verschie- dene Modifikationen zur Kontrast- und Belichtungsoptimierung erprobt werden. Durch Umbau der Weissblitzfotofallen wurde versucht, deren Fokus und Bildwinkel so anzupassen, dass sie auch in einer kleineren Bauweise eingesetzt werden können. Unter Verwendung verschiedener Baumateri- alien wurde versucht, kompaktere Prototypen in besonders handlicher Bauweise anzufertigen. Durch den Austausch der Objektive gelang es, den Fokus und Bildwinkel der verwendeten Fotofallen soweit anzupassen, dass die gebauten Prototypen nur noch halb so lang sind wie die Mostela. Der am besten gelungene Prototyp kann zudem für Transport und Lagerung in seine Einzelteile zerlegt werden. Da die Prototypen nur noch einen Bruchteil der Mostela wiegen, wird die zerlegbare Kiste rucksacktauglich und kann so auch problemlos an entlegenen Orten eingesetzt werden. Durch Ver- wendung von Farbfotos und Anpassungen der Bauweise konnte die Bildqualität und somit die Be- stimmbarkeit von Kleinsäuger erhöht werden. In den Feldversuchen zeigte sich, dass durch eine geeignete Hintergrundwahl und die Verwendung eines passenden Blitzdiffusors, die Bestimmbarkeit weiter verbessern werden kann. Um letztendlich das ganze Potential der Nachweismethode aus- schöpfen zu können, wird in Zukunft neben der Handhabung und Bildqualität auch die Effizienz der Bildauswertung verbessert werden müssen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
1.1	Nachweismethoden mit Fotofallen	7
1.2	Zielsetzung	9
2	Fotofallenbox «Mostela»	10
2.1	Verbesserungsvorschläge	10
3	Methode.....	17
3.1	Verwendete Fotofallen	17
3.2	Fokus.....	18
3.3	Bildwinkel.....	19
3.4	Bauweise	23
3.5	Bildqualität	24
4	Resultate	26
4.1	Fokus.....	26
4.2	Bildwinkel.....	28
4.3	Bauweise	31
4.4	Bildqualität	39
5	Diskussion	43
5.1	Fokus.....	43
5.2	Bildwinkel.....	44
5.3	Bauweise	46
5.4	Bildqualität	49
6	Schlussfolgerung	52
7	Literaturverzeichnis.....	54
	Abbildungsverzeichnis	57
	Tabellenverzeichnis	58

1 Einleitung

Über die regionale Verbreitung der einheimischen Vertreter von kleinen Marderartigen (Musteliden) und Schläfern (Gliridae), existieren nur sehr lückenhafte Daten (Capt & Marchesi, 2012, Vaterlaus-Schlegel, 2001). Dasselbe gilt für deren Bestandesdichten und -änderungen. Namentlich handelt es sich um die Musteliden; Hermelin (*Mustela erminea*), Mauswiesel (*Mustela nivalis*) und Ittis (*Mustela putorius*), sowie die Schläfer; Gartenschläfer (*Eliomys quercinus*), Baumschläfer (*Dryomys nitedula*), Siebenschläfer (*Glis glis*) und Haselmaus (*Muscardinus avellanarius*). Dabei wäre fundiertes Wissen über deren Bestände und Verbreitung dringend notwendig, um die bereits auf der Roten Liste von 1994 aufgeführten Arten gezielt fördern zu können. Schon damals galt der Baumschläfer als potentiell gefährdet, die Haselmaus, das Mauswiesel und der Ittis als gefährdet (BUWAL, 1994).

Die lückenhafte Datenlage begründet sich einerseits dadurch, dass die genannten Arten allesamt seit 1986 geschützt sind, wodurch die zur Beurteilung von Bestandesänderungen hilfreiche Daten aus Jagdstatistiken fehlen (Jagdgesetz, 1986). Andererseits ist ein direkter Nachweis von Kleinmusteliden wegen ihrer heimlichen Lebensweise nur schwer umsetzbar (Capt & Marchesi, 2012). Selbiges gilt für die Schläfer, welche meist nur lokal vorkommen und zudem nachtaktiv sind (Tester & Müller, 1996). Der Nachweis von Schläfer und Kleinmusteliden erfolgt daher meist indirekt, durch Erhebung von Anwesenheitszeichen, Bestimmung von Trittsiegeln (Spurentunnel), Analyse von Haarproben (Haarfallen) oder mit Hilfe von Fotofallen. In den letzten Jahrzehnten etabliert hat sich der Nachweis mittels Spurentunneln. Eine Methode, welche sich auch für den Nachweis von anderen Kleinsäugetern eignet (Capt & Marchesi, 2012). Zur Überarbeitung der Roten Liste wurde die Methode 2010 grossflächig für eine einheitliche Erfassung der Kleinmusteliden verwendet.

Nachteil dieser Methode ist, dass die Bestimmung der Trittsiegel viel Erfahrung erfordert und die Betreuung der Fallen im Feld, sowie die Herstellung von Spurentinte und -papieren, relativ zeitaufwendig sind (Pauli, 2018).

Als Alternative zur bewährten Methode, bietet sich der Nachweis mittels Fotofallen an. Erste Versuche mit verschiedenen Systemen an der ZHAW sind vielversprechend, jedoch besteht bezüglich deren technischen Umsetzung und Handhabung noch Optimierungspotential (Pauli, 2018, Jud, 2018). Durch die Weiterentwicklung der Methoden erhofft man sich letztendlich folgende Vorteile gegenüber den Spurentunnel (ZHAW, 2017):

- Verbesserte Datenqualität und mehr Informationsgehalt.
- Durch Einbezug der Bevölkerung bei der Bestimmung der Tiere, könnte der Bestimmungsaufwand für grosse Datenmengen verringert werden (Citizen Science). Alternativ liesse sich der Bestimmungsaufwand auch durch Bilderkennung mittels künstlicher Intelligenz stark reduzieren.

- Der Zeitaufwand und die Gesamtkosten werden geringer.
- Der kleinere Arbeitsaufwand ermöglicht eine räumlich und zeitlich detailliertere Erhebung von Kleinsäugetern.

1.1 Nachweismethoden mit Fotofallen

Der Nachweis von Kleinsäugetieren mittels Fotofallen birgt jedoch einige Herausforderungen: Erstens reagieren die in den meisten Fotofallen verbauten Passiv-Infrarot-Sensoren (PIR) weniger sensibel auf kleine Arten, wodurch die Auslösung der Kamera erschwert wird. Zweitens müssen kleine Tiere zur Bestimmung anhand von Bildmaterial möglichst nahe fotografiert werden. Dies kann sich als problematisch erweisen, wenn sich die Tiere schnell bewegen und den Blickwinkel der Kamera bereits vor dessen Auslösung verlassen haben. Drittens kann die Bestimmung kleiner Arten schwierig sein, da Unterscheidungsmerkmale möglicherweise nicht erkennbar sind, insbesondere wenn das Tier teilweise von Vegetation verdeckt ist. (Glen et al., 2013)

Zwar sind Nachweise von Kleinsäugetieren auch bei üblichem Gebrauch von Fotofallen möglich, die oben genannten Gründe erfordern jedoch meist zusätzliche Einrichtungen um die «Fangbedingungen» zu begünstigen. Im Folgenden werden einige Versuchseinrichtungen zum Nachweis von Kleinsäugetern mittels Fotofallen kurz vorgestellt.

Offene Versuchseinrichtungen

Eher simple Anpassungen sind beispielsweise die Anlockung von Tieren, durch die Platzierung eines Köders vor der Kamera (Meek & Vernes, 2016, Mills et al., 2016) oder die Standardisierung des Sichtfelds mit einer Leinwand im Hintergrund (Glen et al., 2013). Letzteres dient zum besseren Vergleich der relativen Abundanzen.

Diese Versuchseinrichtungen werden den speziellen Herausforderungen für den Nachweis kleiner Arten mit Fotofallen nur teilweise gerecht. Sie ermöglichen zwar das Fotografieren aus geringer Distanz, da das Tier vor dem nahe platzierten Köder verweilt und daher genügend Zeit vorhanden ist, um die Kamera auszulösen. Jedoch können bei offenen Versuchseinrichtungen immer noch Teile des Tieres durch Vegetation verdeckt sein. Weiter sind beide Versuchseinrichtungen auf die Verwendung von Köder angewiesen. Dies kann zu einer Verfälschung der Messergebnisse führen. Einerseits werden einige Arten durch Köder stärker angezogen als andere. So werden beispielsweise Spitzmäuse von vielen gebräuchlichen Ködern kaum angelockt. Andererseits unterliegt die Akzeptanz von Ködern saisonalen Schwankungen. Deshalb können unterschiedliche Fangraten auch durch Änderung der Köderakzeptanz und nicht zwingend durch Populationsänderungen hervorgerufen werden. So ist die Fangwahrscheinlichkeit bei niedrigem natürlichem Nahrungsangebot

am höchsten, da zu dieser Zeit der Köder besonders attraktiv ist. Dies obwohl sich zu diesem Zeitpunkt die Population in ihrem jährlicher Tiefstand befindet. (Fitch, 1954)

Geschlossene Versuchseinrichtungen

Etwas komplexer sind Versuchseinrichtungen, welche die Tiere in einem eigens dafür gebauten, geschlossenen Behälter fotografieren. Abhängig von der Fragestellung wurden in verschiedenen Studien geschlossene Versuchseinrichtungen für unterschiedliche Einsatzgebiete gebaut (Beispiele in Tabelle 1).

Tabelle 1: Beispiele für geschlossene Versuchseinrichtungen. *Quelle: siehe Spalte «Quelle», eigene Darstellung.*

Bezeichnung	Material	Einsatzgebiet	Quelle
Hunt-Trap	Holz/Plastik	Schwimmend, auf Offengewässer	(McCleery et al., 2014)
Subnivean Camera trap box	Aluminium	Vergraben, unter Schnee	(Soininen et al., 2015)
Tube-Cam	PVC-Rohre	Offenflächen, in Kleinstrukturen	(Ratnaweera, 2017)
Mostela	Holz	Offenflächen, in Kleinstrukturen	(Croose & Carter, 2019)

Die geschlossenen Versuchseinrichtungen werden den speziellen Herausforderungen für den Nachweis von kleinen Tieren besser gerecht. Einerseits kommen sie meist ohne Köder aus: Röhrenartige Strukturen wirken ohnehin lockend für Kleinsäugetiere. So können beispielsweise Hermeline tunnelartigen Strukturen kaum widerstehen und müssen sie erkunden (Robin et al., 2017). Da die Tiere hineinkriechen müssen, bewegen sie sich auch ohne durch ein Köder «ausgebremst» zu werden, deutlich langsamer und sind so einfacher zu fotografieren. Die Resultate werden daher nicht durch die Köderakzeptanz beeinflusst. Sollte trotzdem ein Köder verwendet werden, können zumindest grössere Tiere davon ausgeschlossen werden. Zudem können geschlossene Systeme in den Lebensraum der Tiere integriert werden und abhängig ihrer Bauart im Schnee oder Asthaufen vergraben oder auf offenem Gewässer platziert werden. Ein weiterer Vorteil von geschlossenen Systemen sind die konstanten Aufnahmebedingungen welche darin erstellt werden. Dies vereinfacht die Optimierung der Kameraeinstellungen und erhöht die Vergleichbarkeit der Aufnahmen. So können die Belichtungs- und Kontrastverhältnisse, die Fokusdistanz, sowie der Aufnahmebereich unabhängig von Untersuchungsort oder Tageszeit gleich gehalten werden. Konstante Aufnahmebedingungen könnten für eine teilautomatisierte Bilderkennung von Vorteil sein, weil damit erst bei hohem Kontrast die Tiere erfolgreich vom Hintergrund unterschieden werden können (Laliberte & Ripple, 2003).

Für den Nachweis von Kleinmusteliden und Schläfern würden sich von den genannten Beispielen aufgrund ihres Einsatzgebietes, die Tubecam oder Mostela wohl am besten eignen (Tabelle 1). Diese zwei Methoden hat Pauli 2018 in seiner Bachelorarbeit mit den bereits bewährten Spurentunneln verglichen. Dabei zeigte sich, dass sich besonders die Weiterentwicklung der Mostela lohnen würde (Pauli, 2018).

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Weiterentwicklung und Optimierung der Fotofallenboxen «Mostela».

Dafür soll...

- ... die Bildqualität zur Bestimmung von anderen Kleinsäugetern verbessert werden,...
- ...Test mit verschiedenen Blitzen und Objektiven durchgeführt werden...
- ... und die Handhabung im Feld durch leichtere und kompaktere Gestaltung der Mostela-Box verbessert werden.

Die erarbeiteten Prototypen sollen getestet und mittels einem Standardformular objektiv miteinander verglichen werden. Weiter sollen detaillierte Pläne und Anweisungen zum Bau des optimierten Systems erstellt werden.

2 Fotofallenbox «Mostela»

Doch was genau ist die Mostela? Sie wurde entwickelt, um kleine Marderartige (Wiesel und Hermelin) im Feld zu erfassen. Mostela ist ein Akronym aus «Mos» (Nachname des Erfinders Jeroen Mos) und «*Mustela*» (Gattungsname der Kleinmusteliden). Der Prototyp Mostela ist eine Sperrholzkiste mit einem PVC-Rohr als Ein- und Ausgang für kleine Säugetiere bis zur Größe eines weiblichen Iltisses. Die Kiste ist ungefähr 60 cm lang, 30 cm breit und 20 cm hoch. Die Durchgangsröhre ist im Innern der Kiste aufgeschnitten, was die Aufzeichnung eines vorbeiziehenden Kleinsäugetiers mit einer Kamerafalle ermöglicht, welche am anderen Ende der Box platziert ist (Abbildung 1, Abbildung 2). (Small Mustelid Foundation, 2019)



Abbildung 1: Mostela: auf linker Seite der Sperrholzkiste befindet sich das Durchgangrohr, rechts die Wildtierkamera. *Quelle: (Jud, 2018).*



Abbildung 2: Aufzeichnung eines Hermelins in einer Mostela. *Quelle: (Jud, 2018).*

2.1 Verbesserungsvorschläge

Jud untersuchte 2018 in seiner Bachelorarbeit das Potential der Mostela für das Monitoring von Kleinsäugetieren. Darin machte er verschiedene Vorschläge zur Verbesserung der Nachweismethode. Einige davon (Bildqualität, Fokus, Bildwinkel und Bauweise) werden in diesem Kapitel aufgegriffen und unter Einbezug von Grundlagen der Optik und Fotografie (in Bezug auf Fotofallen), sowie Erkenntnissen aus anderen Fotofallenstudien diskutiert.

Bildqualität

In seiner Arbeit definierte Jud zwei Hauptkriterien, welche von der Mostela für ein erfolgreiches Monitoring erfüllt sein müssen. Einerseits sollten Kleinsäuger genügend Interesse an der Mostela zeigen. Dieser Kritikpunkt wurde erfüllt, sollte jedoch nach Änderung der Bauweise erneut geprüft werden. Andererseits sollte die Bildqualität eine zuverlässige Bestimmung der Tiere ermöglichen (Art-Niveau). Dieser zweite Hauptkritikpunkt wurde noch nicht erfüllt, weshalb die Bildqualität zwingend verbessert werden sollte (Jud, 2018).

In seiner Bachelorarbeit verwendete Jud die Infrarot-Kamera «*Bushnell NatureView HD Cam Max*». Die damit gemachten Aufnahmen waren oft überbelichtet und kontrastarm. Zudem enthielten die Schwarzweissfotos (Infrarotblitz) meist zu wenig Informationen, um Kleinsäugetiere anhand morphologischer Merkmale zu unterscheiden (Jud, 2018).

Dass sich Kleinsäuger anhand von Infrarotaufnahmen nur schwer bestimmen lassen, ist bekannt und liegt an ihrer ähnlichen Grösse und Morphologie (Wearn & Glover-Kapfer, 2017). Mit Hilfe von Weissblitz kann die charakteristische Morphologie von Tieren meist besser festgehalten werden (Meek & Vernes, 2016), zumal auf Farbfotos eine Bestimmung anhand der Fellfärbung ermöglicht wird (Wearn & Glover-Kapfer, 2017). Zur Verbesserung der Bildqualität liegt es deshalb nahe, Fotofallen mit Weissblitz zu verwenden und diese im Hinblick auf Belichtung und Kontrast zu testen, sowie mit den Aufnahmen von Jud zu vergleichen.

Bezüglich der Verwendung von Weissblitzen in Wildtierkameras existieren jedoch teilweise Bedenken. Einerseits führt die Sichtbarkeit für das menschliche Auge dazu, dass Kamerafallen mit Weissblitz im Feld auffälliger sind und somit eher gestohlen oder manipuliert werden (Glen et al., 2013). Bei der Verwendung in einer geschlossenen Kiste reduziert sich die Sichtbarkeit des Weissblitzes im Feld jedoch deutlich und sollte daher weniger ein Problem sein. Andererseits kann der grelle Blitz das Verhalten der Tiere verändern und dazu führen, dass die Kamera gemieden wird (Wearn & Glover-Kapfer, 2017), was letztendlich die Messergebnisse verfälschen würde. Dahingegen ist ein Infrarot-Blitz für die meisten Tiere unsichtbar, wodurch angenommen werden könnte, dass Tiere nicht auf Infrarotblitze reagieren. Entgegen dieser Annahme reagierten beispielsweise Hermeline in einer Untersuchung oft sowohl auf Weissblitz-, als auch auf Infrarotkameras, wobei nicht klar wurde, ob die Reaktion durch den Blitz oder durch Geräusche der Kamera hervorgerufen wurden. Jedoch sind die Hermeline dabei weder geflüchtet, noch zeigten sie nachfolgend eine Zurückhaltung gegenüber den Kameras (Glen et al., 2013). Je nach Kameramodell emittieren Fotofallen nicht nur Geräusche bei der Auslösung, sondern auch im Standbymodus (Meek et al., 2014, Rieche, 2014). Die Auswirkungen des Weissblitzes sowohl auf das Verhalten der Tiere, als auch auf die Messergebnisse werden in dieser Arbeit nicht weiter untersucht, sollten jedoch im Hinterkopf behalten werden.

Fokus

Bei herkömmlichen Fotofallen ist der Fokus meist fix eingestellt. Um trotzdem einen gewissen Schärfebereich abdecken zu können, verfügen sie über eine hohe Tiefenschärfe (Wearn & Glover-Kapfer, 2017). In der Mostela werden die Fotofallen für sehr kurze Objektdistanzen¹ (< 70 cm) eingesetzt. Diese Distanz wird bei den meisten Fotofallen unterhalb oder am Rande ihres Schärfebereiches

¹ Objektdistanz (OD) bezeichnet den Abstand zwischen Kamera und abzubildendem Gegenstand.

liegen, da sie normalerweise für grössere Objektdistanzen verwendet werden. Die von Jud verwendete Kamera wurde vom Hersteller mit zur äusseren Montage vorgesehenen Nahlinen geliefert (460 mm und 600 mm Brennweite) (Jud, 2018). Diese ermöglichen die Scharfstellung von näher gelegenen Objekten. Da die meisten anderen Fotofallen ohne solche aufschraubbaren Nahlinen geliefert werden, muss hierfür eine Lösung gesucht werden.

Das angesprochene optische Problem lässt sich mit jenem der Weitsichtigkeit (Hyperopie) vergleichen: Bei einem weitsichtigen Auge können nahe gelegene Objekte nicht scharfgestellt werden, weil entweder die Brechkraft des Auges zu gering, oder der Augapfel zu kurz ist und daher der Brennpunkt (F') hinter der Netzhaut liegt (Abbildung 3) (Hering & Martin, 2017). Übertragen auf ein optisches System bedeutet dies, dass entweder die Brechkraft der Optik zu gering, oder die Distanz zwischen Objektiv und Sensor zu klein ist, wodurch sich der Brennpunkt hinter dem Sensor befindet. Zur Verschiebung des Brennpunktes bieten sich somit zwei Lösungsansätze an: Einerseits kann, wie bei der Korrektur der Weitsichtigkeit, mit einer Sammellinse (Nahlinse) die Brechkraft erhöht und dadurch den Brennpunkt auf die Netzhaut, respektive Sensor verschoben werden (Abbildung 3). Andererseits könnte hierfür auch der Abstand zwischen Objektiv und Sensor erhöht werden.

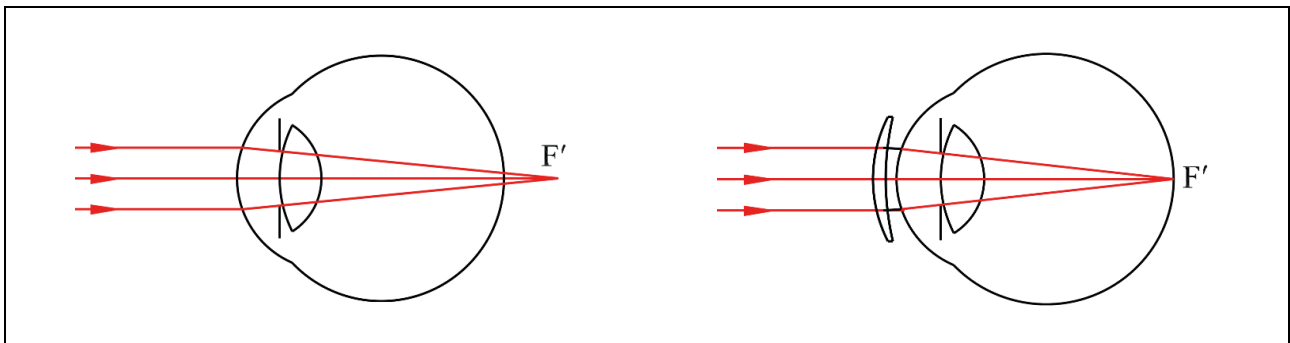


Abbildung 3: Weitsichtiges Auge (Hyperopie). Links: unkorrigiert, Brennpunkt (F') liegt hinter Netzhaut, rechts: korrigiert, Brennpunkt (F') liegt auf Netzhaut. Quelle: (Hering & Martin, 2017).

Über Nahlinen

Die Brechkraft von Nahlinen wird in Dioptrien (dpt) angegeben. Der Umkehrwert der Brechkraft entspricht deren Brennweite ($1/\text{dpt} = \text{m}$). Wenn der Fokus der bestehenden Optik auf Unendlich gestellt ist, wird dieser durch Vorsatz einer Nahlinse so geändert, dass die Fokusebene neu der Nahlinsenbrennweite entspricht (Jaklitsch, 2004). Bei Vorsatz einer Nahlinse mit +2 dpt Brechkraft ($1/2\text{dpt} = 0.5\text{m} = 500\text{ mm}$ Brennweite), wird beispielsweise die neue Fokusebene 50 cm von der Nahlinse entfernt sein. Dies entspricht genau der Brennweite der Nahlinse ($1/2\text{dpt} = 0.5\text{m} = 500\text{ mm}$ Brennweite).

Bildwinkel

Der typische Bildwinkel einer herkömmlichen Kamerafalle beträgt 40° (Wearn & Glover-Kapfer, 2017). Jud empfahl, für die Mostela ein Kameramodell mit grösserem Bildwinkel zu verwenden. Erstens weil Tiere, welche sich in Richtung der Kamera bewegt haben, nicht mehr auf dem Foto zu sehen waren. So könnte der grössere Bildwinkel bei gleichbleibender Objektdistanz für mehr Bildweite verwendet werden (Abbildung 4b). Zweitens liesse sich ein grösserer Bildwinkel auch nutzen, um die Kiste zu verkleinern. Der grössere Bildwinkel würde hierbei für eine geringere Objektdistanz (Distanz zwischen Kamera und abzubildendem Objekt) bei gleichbleibender Bildweite genutzt (Abbildung 4c). Hier entsteht also ein Trade-off zwischen einer möglichst kleinen Kiste und möglichst grosser Bildweite.

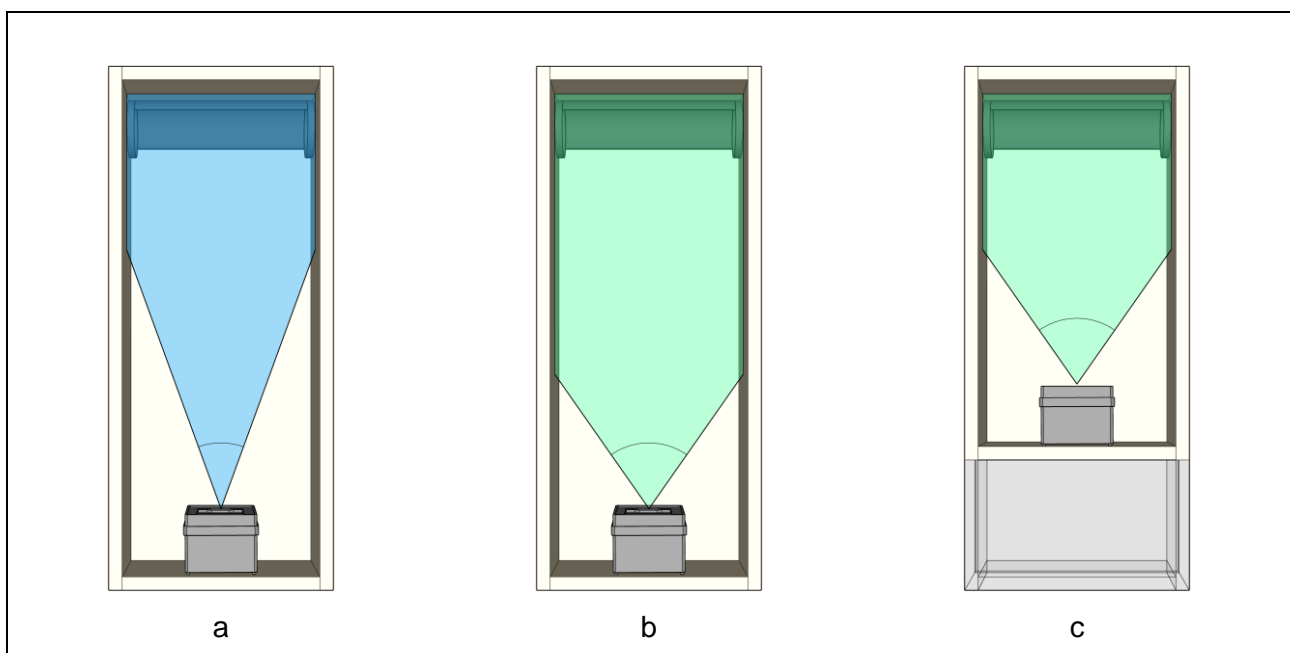


Abbildung 4: Schematische Darstellungen verschiedener Bildwinkel in der Mostela. a) Bildwinkel = 40° b) Bildwinkel = 70° selbe Objektdistanz, mehr Bildweite c) Bildwinkel = 70° kürzere Objektdistanz, selbe Bildweite, kürzere Box.
Quelle: Eigene Darstellung.

Bei Änderung des Bildwinkels einer Wildtierkamera sollten jedoch einige Aspekte berücksichtigt werden: Einerseits bleibt der Erfassungswinkel des PIR gleich (Wearn & Glover-Kapfer, 2017). Somit muss überprüft werden, ob die Kamera auch nach Änderung des Bildwinkels noch wie gewünscht ausgelöst wird. Andererseits nimmt bei Vergrösserung des Bildwinkels auch die Bildverzerrung zu. Dies könnte die Bestimmung einiger Arten erschweren.

Doch wie kann der Bildwinkel vergrössert werden? Die einfachste Art, mehr Bildwinkel zu erhalten wäre natürlich der Kauf einer Kamera mit mehr Bildwinkel. Falls jemand bereits in Besitz einer Kamera mit typischem Bildwinkel ist, so muss deren Optik für die Anwendung in der Mostela angepasst werden. Dies könnte entweder durch die Montage eines Weitwinkeladapters oder den Austausch des Objektivs erfolgen:

Weitwinkeladapter

Mit Vorsatzobjektiven kann die Brennweite eines bestehenden Systems verändert werden. Ein Weitwinkelvorsatz reduziert die Brennweite und erhöht somit den Bildwinkel. Dabei muss der Vorsatz sehr nahe am bestehenden Objektiv montiert werden, um die Vignettierung zu reduzieren. (Kingslake, 1992)

Weitwinkelobjektiv

Eine andere Option wäre, das verbaute Objektiv mit einem weitwinkligeren zu ersetzen. Bei der Wahl des richtigen Objektivs gilt es verschiedenes zu berücksichtigen. Nachfolgend werden die wichtigsten Punkte aus der Anleitung zur Wahl des richtigen Objektivs von Simon zusammengefasst (Simon, 2017):

1. Welcher Objektivanschluss besitzt die Kamera?

Objektive werden generell nach der Grösse ihrer Halterung oder jener des Gewindes klassifiziert (Simon, 2017). An mobilen Geräten sind oft M12 Objektive (auch S-mount genannt) verbaut. So auch an vielen Kamerafallen. M12 Objektive verfügen an ihrer Aussenseite über ein Gewinde, durch welches sie mit der Kamera verbunden werden. Durch Herausschrauben des Originalobjektives, kann dieses von der Objektivhalterung entfernt und durch ein beliebiges M12 Objektiv ersetzt werden.

2. Passt das Objektiv zur gewünschten Wellenlänge oder ist ein Filter notwendig?

Der Brechungsindex von Glas ist abhängig von der Wellenlänge des Lichts, weshalb Weisslicht durch ein Prisma in seine regenbogenfarbenen Komponenten aufgeteilt wird. Deswegen liegt der Brennpunkt unterschiedlicher Wellenlängen und somit Farben, in unterschiedlichen Distanzen hinter einer Linse. Der dadurch entstehende Bildfehler nennt sich «Chromatische Aberration». Um die dabei entstehenden Farbsäume und Lichtschweife zu reduzieren, kann die auf den Sensor eintreffenden Wellenlängen mit einem UV- oder IR-Filter² eingeschränkt werden. Falls das Infrarotlicht für die Anwendung zwingend notwendig ist, müssen Objektive verwendet werden, welche dazu optimiert sind, die Brennpunkte des Weiss- und Nahinfrarotlichts auf den selben Punkt zu bringen. Diese Objektive werden als «IR-korrigiert» bezeichnet.

² UV=Ultraviolett, IR= Infrarot.

3. Welche Brennweite resultiert aus der Objektdistanz und der gewünschten Bildgrösse?

Die erforderliche Brennweite kann mit Hilfe einer Formel (I) berechnet werden. Sie ist abhängig von der Sensorgrösse, der gewünschten Arbeitsdistanz und der zu abbildenden Objektgrösse:

$$f = \frac{\text{Sensorgrösse}}{\text{Objektgrösse}} \times \text{Arbeitsdistanz} \quad (\text{I})$$

4. Wie viel Licht ist verfügbar und welche Blendenzahl (f) ist optimal?

Die Blendenöffnung kontrolliert die Menge an Licht, welche durch das Objektiv auf den Sensor fällt. Die Blendenzahl (f) beschreibt die verschiedenen Blendenöffnungen, wobei eine tiefe Zahl eine grosse Blendenöffnung und eine grosse Zahl eine kleine Blendenöffnung bezeichnet. Der Öffnungsgrad der Blende beeinflusst zusammen mit der Brennweite massgeblich die Tiefenschärfe. Dabei führt eine hohe Blendenzahl (kleine Blendenöffnung) zu einer hohen Tiefenschärfe, jedoch gleichzeitig zu einem dunkleren Bild. Daher sind die Lichtverhältnisse zwingend mit zu berücksichtigen. M12 Objektive verfügen meist nicht über eine variable sondern über eine fixe Blende. Daher wird empfohlen, eine Auswahl an Objektiven mit unterschiedlichen Blendenzahlen zu vergleichen, um die richtige Objektivwahl zu gewährleisten.

5. Passt die Sensor- und Pixelgrösse zum Bildkreis und Auflösung des Objektivs?

Das Objektiv sammelt das Licht und projiziert dieses auf den Bildsensor. Damit der durch das Objektiv fallende Lichtkegel den Sensor komplett ausleuchten kann, muss der entstehende Bildkreis mindestens die Grösse des Sensors haben. Ansonsten entstehen in den Ecken des Bildes dunkle Stellen (Vignettierung). Das richtige Objektiv sollte zudem immer basierend auf der Sensorauflösung (Pixelgrösse) gewählt werden. So kann ein Sensor mit beispielsweise 5MP ein grosser Sensor, bestehend aus grossen Pixel oder ein kleiner Sensor, bestehend aus (gleich vielen) kleinen Pixel sein. Das Auflösungsvermögen des Objektivs passt dabei genau auf eine bestimmte Sensorgrösse mit einer bestimmten Anzahl an Pixel. Die Pixelgrösse kann sowohl für die Kamera als auch für das Objektiv berechnet werden und sollte übereinstimmen (Formel II).

$$\text{Pixelgrösse} = \sqrt{\frac{\text{Sensorbreite} \times \text{Sensorhöhe}}{\text{Auflösung}}} \quad (\text{II})$$

Bauweise

Die von Jud gebauten Kisten waren mit einer Länge von 70 cm (10 cm länger als Original) nicht nur gross und sperrig, durch das relativ dicke Baumaterial (18 mm Birkenesperrholz) waren sie auch schwer (9.5 kg). Bereits durch Verwendung von leichterem Baumaterial könnte das System deutlich leichter gebaut werden. Durch eine kompaktere Bauweise könnte das Gewicht weiter reduziert und die Handhabung (Transport & Lagerung) zudem vereinfacht werden. Dadurch würde auch die erhöhte Platzierung der Mostela in Ästen erleichtert, um gezielt Schläfer nachzuweisen (Jud, 2018). Letztendlich sind Gewicht und Handhabung ein wichtiges Kriterium für die Feldtauglichkeit der Nachweismethode. Jedoch muss auch eine gewisse Stabilität und Wetterfestigkeit gegeben sein. Weiter sollten die Materialkosten und der Herstellungsaufwand nicht zu hoch sein. Daraus ergeben sich für die Prototypen folgende Bewertungskriterien: Handhabung (Gewicht, sowie Transport und Lagerung), Beständigkeit (Stabilität, Wetterfestigkeit) und Kosten (Materialkosten, Herstellungsaufwand).

3 Methode

Zur Optimierung der Nachweismethode wurde kein vordefinierter Ablauf eingehalten. Vielmehr habe ich einzelne Änderungen nach und nach ausprobiert und entsprechend dem Ergebnis, das weitere Vorgehen angepasst. Als erster Schritt versuchte ich herauszufinden, ob und wie sich die Optik der **verwendeten Fotofallen** ändern lässt: Dafür habe ich einer von Jud gebauten Mostela experimentell untersucht, inwiefern sich **Fokus** und **Bildwinkel** mit Hilfe von Nahlinsen, Weitwinkeladapter oder Austausch der Objektive verstellen lassen. Entsprechend den Resultaten habe ich möglichst kleine und handliche Prototypen in unterschiedlichen **Bauweisen** gefertigt, wobei zusätzlicher Bildwinkel hauptsächlich zur Verkleinerung der Kiste und weniger für die Erweiterung der Bildweite genutzt wurde. In Feldversuchen wurden die Einstellungen für eine optimale **Bildqualität** weiter verfeinert: So versuchte ich einerseits die Streuung des Blitzes und somit die gleichmässige Ausleuchtung der Kiste zu verbessern, andererseits habe ich nach einem für Belichtung und Kontrast optimalen Hintergrund gesucht.

3.1 Verwendete Fotofallen

Tabelle 2: Kenndaten der verwendeten Fotofallen Reconyx HC550 und Reconyx HP2W. *Quellen: (Reconyx, 2013, Reconyx, 2018), * eigene Messung / Berechnung, eigene Aufnahmen.*

Reconyx HC550



Reconyx HP2W



Blitz	LED	LED
Sensorgrösse*	2/3"	1/3"
Auflösung	3.1 MP	3 MP
Pixelgrösse*	4.33 µm	2.4 µm
Aussenmasse* (l / b / h)	8.5 / 11.5 / 14.5	7.5 / 11.5 / 13.5
Bildwinkel*	40°	36°
Gewicht* (Einsatzbereit)	660g	560g

Für diese Arbeit wurden zwei LED-Weissblitzfotofallen aus dem mittleren bis hohen Preissegment verwendet (Wearn & Glover-Kapfer, 2017): die Reconyx HC550 (wird nicht mehr hergestellt) und dessen Nachfolgemodell, die Reconyx HP2W. Deren für diese Arbeit relevante Kenndaten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

3.2 Fokus

Beide beschriebenen Lösungsansätze zur Verschiebung des Brennpunktes wurden ausprobiert:

Erhöhung der Brechkraft

Durch das Vorsetzen kombinierbarer Nahlinen (52 mm Filtergewinde, +1, +2 und +4 dpt) habe ich für verschiedene Objektdistanzen versucht, die Brechkraft so zu erhöhen, dass ein scharfes Bild entsteht (Tabelle 3). Die Linsen wurden dabei so kombiniert, dass ihre Brennweiten ungefähr zu der jeweiligen Objektdistanz passten. Gestartet wurde bei der grösstmöglichen Objektdistanz 580 mm (Kamera an Rückwand). Zur Montage der Nahlinen wurden Gummibänder um das Kameragehäuse gewickelt (Abbildung 5). Weiter wurden zwei kleinere Planokonvex-Nahlinen (12.6mm Ø), mit den Brennweiten 300mm und 350mm, für die direkte Montage auf dem Sichtglas der Kamera (Klebeknete) getestet (Abbildung 5).

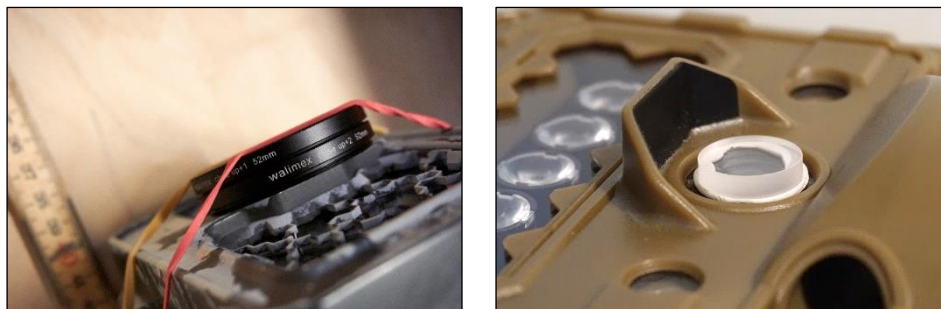


Abbildung 5: links: Montage der kombinierten Nahlinen +1 dpt und +2 dpt mit Gummibändern an der HC550. Rechts: Montage einer Planokonvex-Nahlinse mit Klebeknete an der HP2W. Quelle: Eigene Aufnahmen.

Tabelle 3: Getestete Objektdistanzen und verwendete Nahlinen (Brechkraft und Brennweite). Quelle: Eigene Daten.

Objektdistanz [mm]	580	500	450	400	350	300	250	200
Brechkraft [dpt]	+2			+3			+4	
Brennweite [mm]	500			333			250	

Erhöhung Abstand Objektiv-Sensor

Da M12-Objektive über ein Gewinde mit dem Objektivanschluss verbunden sind, habe ich versucht, den Abstand zwischen Objektiv und Sensor durch Herausdrehen des Objektivs zu erhöhen. Um den passenden Abstand zwischen Objektiv und Sensor zu finden, habe ich nach ganz kleinen Drehungen ($\pm 10^\circ$) jeweils ein Testfoto gemacht und auf den Computer übertragen. Um das ständige hin- und herwechseln der SD-Karte zwischen Kamera und Computer zu umgehen, habe ich versucht eine Live-Bild Übertragung herzustellen. Zwei Möglichkeiten wurden dafür geprüft. Erstens die Übertragung über WiFi durch Herstellung eines eigenen Netzwerks in der Kamera, mit einer sogenannten FlasAir SD-Karte. Zweitens die Übertragung der Daten per Kabel über ein USB-Anschluss an der Reconyx HP2W.

3.3 Bildwinkel

Weitwinkeladapter

Zur Erweiterung des Bildwinkels wurde einerseits versucht, ein Weitwinkeladapter vor die bestehende Optik zu platzieren. Dieser wurde mit Hilfe von Klebknete sowohl ausserhalb der Kamera auf das Sichtglas, als auch im Inneren des Gehäuses, direkt auf dem Objektiv montiert (Abbildung 6). Verwendet wurde ein günstiger Weitwinkeladapter für Smartphones, mit einer 0.67-fachen Bildvergrösserung. Auch bei der Verwendung des Weitwinkeladapters musste der Fokus verstellt werden. Hierfür wurde eine Planokonvex-Nahlinse mit entsprechender Brennweite unter den Weitwinkeladapter gelegt.



Abbildung 6: links: Montage des Weitwinkeladapters auf Sichtglas der Reconyx HC550. Rechts: Montage des Weitwinkeladapters im inneren des Gehäuses der Reconyx HC550. Quelle: Eigene Aufnahmen.

Weitwinkelobjektiv

Andererseits wurde versucht, durch den Austausch der Objektive ein grösseren Bildwinkel zu erhalten. Dabei wurde die Anleitung zur Wahl des richtigen Objektivs von Simon (2017) soweit wie möglich berücksichtigt:

1. Welcher Objektivanschluss besitzt die Kamera?

Beide getesteten Kameramodelle verfügen über ein S-mount Objektivanschluss (Abbildung 7). Somit können die Originalobjektive durch andere, sogenannte «M12-Objektive» (auch «Broad lens» genannt) ausgetauscht werden. Bei der HC550 ist das Gewinde vom Objektivanschluss etwas länger als bei der HP2W.

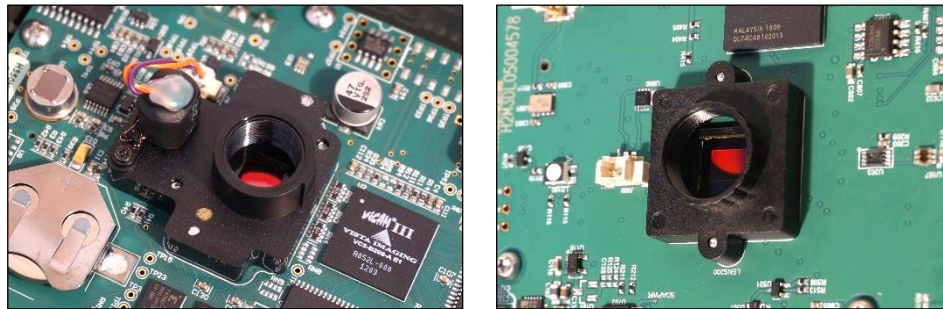


Abbildung 7: S-mount Objektivanschlüsse, links: Reconyx HC550, rechts: Reconyx HP2W. Quelle: Eigene Aufnahmen.

Um beim Einsetzen der neuen Objektive den ungefähren Fokusbereich zu finden, wurde nach jeder Umdrehung im Gewinde ein Testfoto gemacht. Für die Feinjustierung des Fokus wurde die, zur Findung des passenden Abstandes zwischen Objektiv und Sensor, in Kapitel 3.2 beschriebene Methode angewendet. Damit sich die Gewindeobjektive nach Einstellung des Fokus nicht in der Objektivhalterung bewegen können, wurden diese fixiert. Dafür wurde bei der Reconyx HC550 die Original Spannfeder zwischen Objektiv und Objektivhalterung gelegt, oder falls diese zu kurz war, wurde ein M12 Lockring zur Arretierung des Objektivs verwendet. Bei der Reconyx HP2W wurde ein M12 Lockring verwendet.

2. Passt das Objektiv zur gewünschten Wellenlänge oder ist ein Filter notwendig?

In beiden Kameramodellen ist ein schaltbarer Infrarotfilter verbaut. Bei der HC550 befindet sich der Filter in der Objektivhalterung - zwischen Objektiv und Sensor (Abbildung 8). Somit können Objektive ohne IR-Filter verwendet werden. Bei der HP2W ist der schaltbare Infrarotfilter ausserhalb des Originalobjektivs verbaut und direkt mit diesem verbunden (Abbildung 8). Bei Austausch dieses Objektivs fehlt daher der IR-Filter, weshalb für die HP2W nur Objektive mit integriertem IR-Filter verwendet wurden.

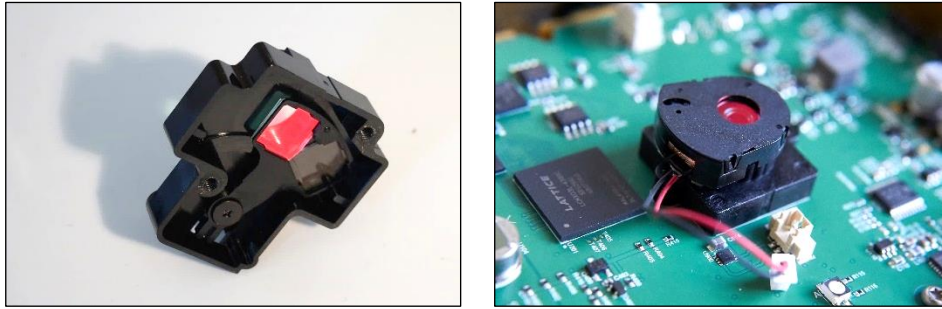


Abbildung 8: links: Objektivhalterung der HC550 mit schwenkbarem Infrarotfilter, welcher eingebaut direkt über dem Sensor liegt. Rechts: Schwenkbarer Infrarotschalter der HP2W, direkt am Objektiv verbaut. *Quelle: Eigene Aufnahmen.*

3. Welche Brennweite resultiert aus der Objektdistanz und der gewünschten Bildgrösse?

Da die Objekt- und Sensorgrösse nicht geändert werden können und die Kiste möglichst klein gebaut und somit die Objektdistanz (Arbeitsdistanz) minimiert werden soll, ist eine möglichst kleine Brennweite (f) zu verwenden (siehe Formel II). Auf der Suche nach der kleinsten sinnvollen Brennweite für beide Kameras, wurden unterschiedliche Objektive getestet. Dabei wurden bei beiden Kameras Gehäuseteile, welche das Sichtfeld beschränkten und nicht zwingend für deren Funktion notwendig sind, entfernt (Abbildung 9).



Abbildung 9: Links: HC550 in Originalzustand, rechts: HC550 nach Umbau: Sichtfeldbeschränkende Bauteile wurden entfernt und das Objektiv ausgewechselt. *Quelle: Eigene Aufnahmen.*

4. Wie viel Licht ist verfügbar und welche Blende (f) ist optimal?

Da die Mostela geschlossen ist, kann kaum Licht von aussen eindringen. Der Blitz sorgt im Innern für relativ konstante, helle Lichtbedingungen. Die Verwendung einer fixen Blende sollte daher kein Problem sein. Um in der Mostela einen möglichst grossen Schärfebereich abdecken zu können, wäre eine hohe Blende optimal. Ich habe daher nach dem Objektiv mit der höchsten Blende gesucht, bei welcher das Bild noch hell genug ist.

5. Passt die Sensor- und Pixelgrösse zum Bildkreis und Auflösung des Objektivs?

Die berechneten, idealen Pixelgrössen der beiden verwendeten Kameras (Tabelle 2) sollten bestmöglich mit jenen der Objektive übereinstimmen.

In dieser Arbeit wurden sieben Objektive getestet. Deren wichtigsten Kenndaten sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Kenndaten der getesteten Objektive. *Quelle: Daten von jeweiligem Hersteller, eigene Darstellung.*

Objektiv-Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Kamera	HC550	HC550	HC550	HP2W	HP2W	HP2W	HP2W
1. Objektivanschluss	S-mount	S-mount	S-mount	S-mount	S-mount	S-mount	S-mount
2. IR Filter	ohne	ohne	ohne	mit	mit	mit	mit
3. Brennweite [mm]	6	4	3.6	4.23	3.6	3.7	2.8
4. Blende [f]	-	-	-	-	-	1.8	-
5. Sensorgrösse	1/2.7"	-	1/3"	1/2.3"	1/3"	1/3"	1/3"
5. Auflösung [MP]	3	-	-	8	-	1	-
5. ideale Pixelgrösse [μm]*	2.7	-	-	1.9	-	4.2	-
FOV	60°	78°	85°	-	85°	104°	115°
MOD [m]	-	-	-	-	-	0.1	-
BFL [mm]	-	-	-	-	-	2.43	-
Hersteller	-	Chuan Wei	Hyperion	-	Hyperion	Lensation	Hyperion
Anbieter	Banggood	AliExpress	BRACK	Banggood	BRACK	CL-Electronics	BRACK
Preis/Stk [Sfr.]	4.00	1.70	3.95	13.45	6.95	48.00	3.95

3.4 Bauweise

Die Länge der Prototypen richtete sich primär nach dem möglichen Bildwinkel. Die Objektdistanz wurde soweit verkürzt, bis mit dem neuen Bildwinkel eine ähnliche Bildweite wie im ursprünglichen System abgebildet werden konnte. Die Innenbreite (26.5 cm) und Innenhöhe (16 cm) wurden beibehalten. Bereits durch die kürzere Bauart wird die Kiste leichter und handlicher. Damit das Gewicht der Kiste weiter reduziert werden kann, wurden Prototypen aus leichteren Materialien gefertigt. Verwendet wurden Birkensperrholz in 12 mm (braun, einseitig Siebdruck, einseitig glatt) und 6.5 mm Stärke (braun, beidseitig glatt), sowie Vollkernplatten (grau, matt) in 6 mm und 5 mm Stärke. Die Schnittflächen aller aus Holz gefertigten Teile, wurden einmal mit Allwetterlack behandelt. Um die Handlichkeit weiter zu steigern, habe ich zudem versucht, Prototypen zu bauen, welche für Transport und Lagerung zerlegt werden können.

Die glatten Oberflächen der verwendeten Materialien werden vermutlich den Geruch der Tiere weniger gut annehmen können, als das unbehandelte Birkensperrholz, welches von Jud verwendet wurde. Deshalb wurde ein dünnes, unbehandeltes Holzbrettchen (aus 3 mm Sperrholz) zwischen Rückwand, Lineal und die beiden Öffnungen eingepasst (Abbildung 10). Das Brettchen sollte den Geruch besser annehmen und so andere Tiere anlocken. Bei Bedarf kann zudem ein Lockstoff auf oder unter das Brettchen gestrichen werden.

Zur Montage der Kameras mit einer 1/4"-Stativschraube wurden jeweils Löcher auf passender Höhe in die Rückwände (für HC550) und Böden (HP2W) der Prototypen gebohrt. Um für die anschließende Optimierung der Bildqualität ein gleichmässiger Hintergrund zu erhalten, wollte ich bei allen Prototypen auf den Einbau einer durchgehenden Röhre verzichten. Damit die röhrenartige «Lockstruktur» der Mostela trotzdem erhalten bleibt, habe ich an den beidseitigen Öffnungen der Prototypen, Röhren gegen aussen hin montiert. Verwendet habe ich DN 75 PP-Rohre in verschiedenen Längen. Zur Montage werden die Rohre von der Innenseite der Kiste, durch deren 8 cm grossen, runden Öffnungen nach aussen gezogen, bis die Verdickung der Muffe am Ende der Rohre bündig mit der Kiste ist (Abbildung 10). Die Rohre können für den Transport der Kiste wieder herausgezogen werden. Damit im Inneren der Kiste auch ohne durchgehendes Rohr eine kleine Leitstruktur für die Tiere besteht, wurde 8 cm vor der Rückwand, zwischen den beiden Öffnungen, ein 1 cm hoher SIECO Birkenholzlineal auf dem Boden montiert. Dieser dient gleichzeitig als Massstab auf den Abbildungen.

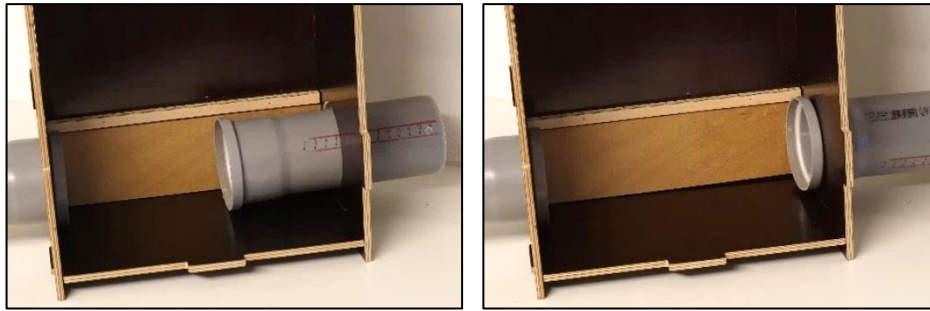


Abbildung 10: Blick von oben auf Prototyp 5. Zwei PP-Rohre dienen als Eingang in die Kiste. Als Leitstruktur im Innern dient ein Holzlineal. Zwischen Lineal, Rückwand und Eingängen liegt ein Holzbrettchen, dass den Geruch der Tiere annehmen soll. Links: Röhre wird zur Montage von innen her nach Aussen gezogen. Rechts: Beide Rohre sind bis zum Anschlag der Muffe nach Aussen gezogen. *Quelle: Eigene Aufnahmen.*

Die erstellten Prototypen haben wurden nach ihren Eigenschaften bezüglich der Handhabung (Gewicht, Transport & Lagerung), Herstellung (Aufwand & Kosten) und Feldtauglichkeit (Stabilität & Wetterfestigkeit) verglichen und bewertet. Für 3D-Visualisierungen und Erstellung von Ausführungsplänen wurde das Programm «SketchUp 2019» verwendet.

3.5 Bildqualität

Zur Verbesserung der Bildqualität wurden zwei Kamerafallen mit Weissblitz getestet. Um verschiedene Einstellungen zur Optimierung von Belichtung und Kontrast unter realen Bedingungen zu testen, wurden zwei Prototypen in einem Asthaufen auf dem Oberschwandenhof in Samstagern platziert. Um Tiere in die Prototypen zu locken, wurde täglich Erdnussbutter auf das Holzbrettchen oder an ein am Deckel montiertes Teesieb gestrichen.

Einerseits habe ich in den Prototypen untersucht, ob sich unterschiedliche Hintergrundfarben auf den Kontrast oder die Belichtung auswirken. Dafür wurden die Kisten mit verschiedenfarbigen Hobbycolor Hartschaumplatten (3 mm) ausgekleidet und die Aufnahmen mit jenen der Originalhintergründe verglichen. Verwendet wurden Hartschaumplatten in den Farben grün, schwarz, grau und weiss. Um die verschiedenen Aufnahmen besser bezüglich des Kontrasts vergleichen zu können, wurde den Bildern zudem die Farbe entzogen, um Schwarz/Weiss Aufnahmen zu erhalten. Hierfür wurde, in der Anwendung «Fotos» von Windows 10, die Farbe der Aufnahmen auf null gestellt.

Andererseits wurde in den Prototypen getestet, inwiefern sich eine gleichmässige Streuung des LED-Blitzes, durch anbringen unterschiedlicher Anzahl Backtrennpapierlagen vor dem Blitz, verändern lässt (Abbildung 11). Verglichen wurde der Originalzustand mit 1, 3, 5, 7 und 9 Lagen Backtrennpapier.

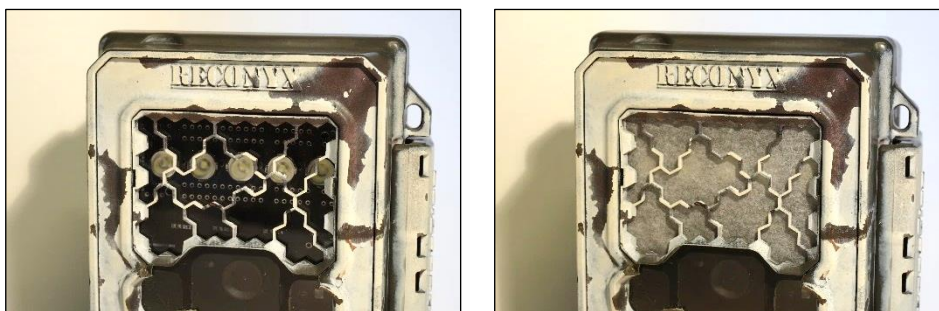


Abbildung 11: links: HC550 ohne Backtrennpapier. Rechts: HC550 mit Backtrennpapier.
Quelle: Eigene Aufnahmen.

4 Resultate

4.1 Fokus

Erhöhung der Brechkraft

Mit Hilfe der Nahlinse konnte der Fokus relativ gut verstellt werden. Obwohl die verwendeten Brennweiten nicht genau zu jeder getesteten Objektdistanz passten (Tabelle 3), waren die Aufnahmen erstaunlich scharf (Abbildung 13). Jedoch nahm mit Verkürzung der Objektdistanz auch die Tiefenschärfe ab: Bei Aufnahmen mit hoher Brennweite (+4 dpt) scheint nur jener Bereich wirklich scharf, welcher genau im Abstand von 250 mm zur Nahlinse liegt (=Brennweite Nahlinse). Bei geringeren Brennweiten (+2 dpt) war die Tiefenschärfe grösser. Auch mit den Planokonvex-Nahlinse war die Tiefenschärfe relativ gering (Abbildung 12): Bei einer Objektdistanz von 35 cm lag der Fokus mit 350 mm Brennweite genau auf der Rückwand, bei 300 mm Brennweite war diese schon etwas unscharf.

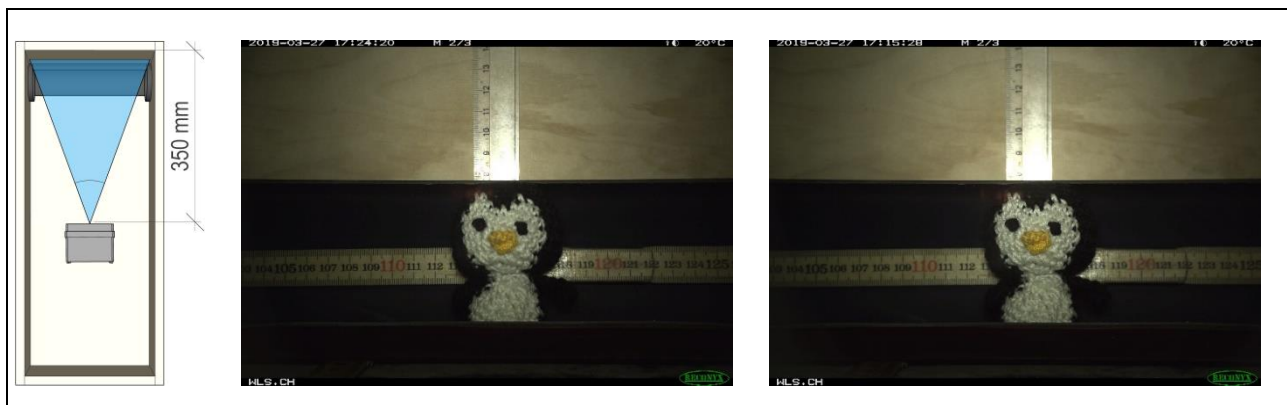


Abbildung 12: Aufnahmen der Reconyx HP2W mit Planokonvex-Nahlinse bei 35 cm OD. links: 350 mm Brennweite, rechts: 300 mm Brennweite. Quelle: Eigene Aufnahmen und Darstellungen.

Erhöhung Abstand Objektiv-Sensor

Die Verschiebung der Fokusebene war durch Drehen der Objektive im Gewinde problemlos möglich. Sowohl für die Originalobjektive, als auch für die weitwinkligeren Objektive konnte mit dieser Methode der Fokus stufenlos auf jede beliebige Objektdistanz angepasst werden (Abbildungen in Kapitel 4.2 – Weitwinkelobjektive). Die Suche nach dem passenden Abstand zwischen Objektiv und Sensor war jedoch relativ aufwendig, da die Livebild-Übertragung nicht funktioniert hat.

Sowohl mit Verwendung der passenden Nahlinse als auch durch weiteres Herausdrehen des Objektivs könnte eine Kamera scheinbar beliebig nahe zum Objekt hin platziert werden. Mit dem originalen Bildwinkel war jedoch ab einer Objektdistanz von 400 mm nicht mehr die ganze Durchgangsröhre der Mostela abgebildet (Abbildung 13). Ohne den Bildwinkel zu erweitern, könnte die Mostela daher um maximal 18 cm verkürzt werden.

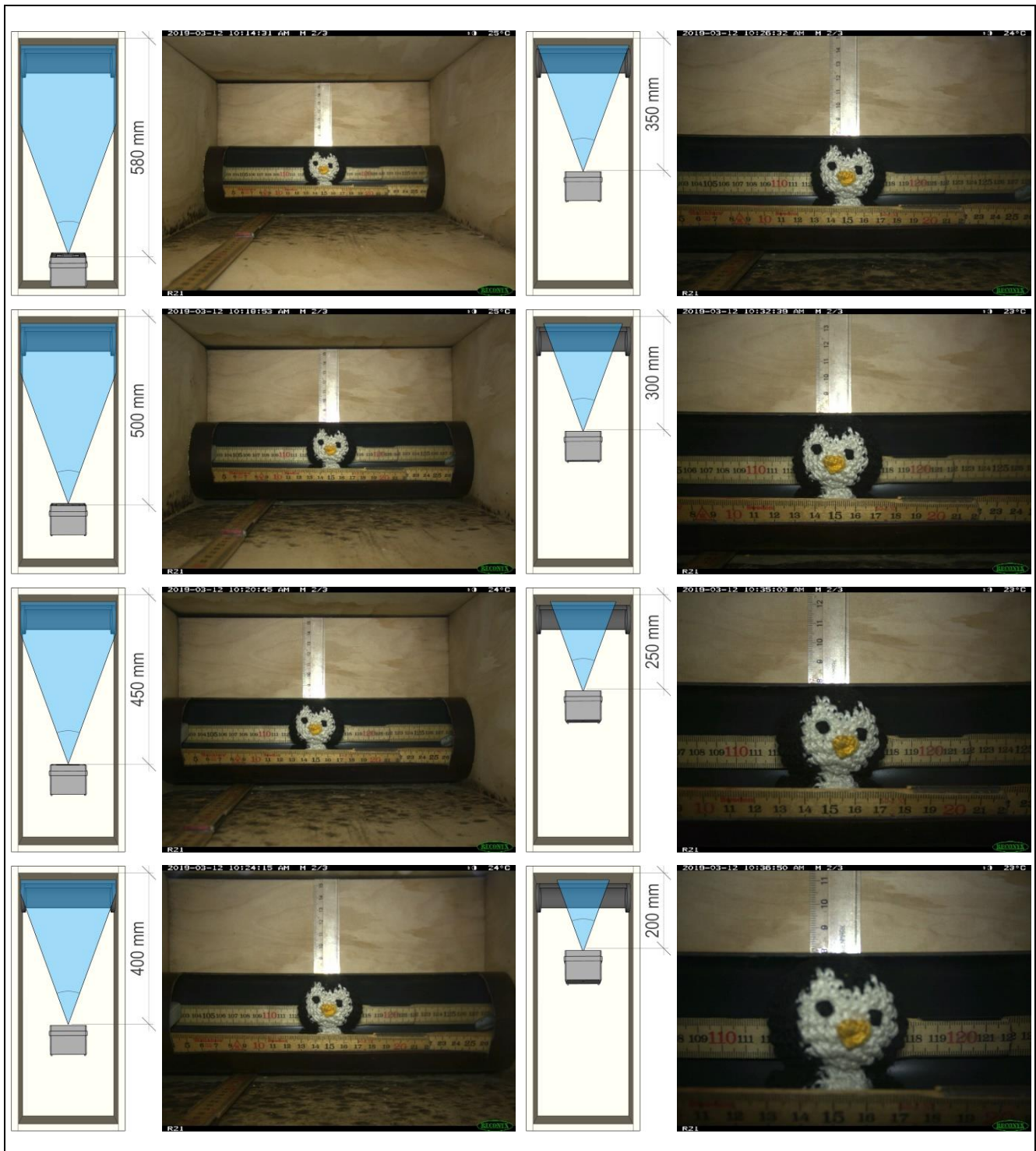


Abbildung 13: Aufnahmen unterschiedlicher Objektdistanzen (OD) und Nahlinienkombinationen der Reconyx HC550 (Originalobjektiv ca. 40° Bildwinkel) in der Mostela von Jud: links, von oben nach unten: OD 580 mm (Kamera an Rückwand), +2 dpt, | OD 500 mm, +2 dpt | OD 450 mm, +2 dpt | OD 400 mm, +3 dpt, rechts von oben nach unten: OD 350 mm, +3 dpt | OD 300 mm, +4 dpt | OD 250 mm, +4 dpt | OD 200 mm, +4 dpt. Quelle: Eigene Aufnahmen und Darstellungen.

4.2 Bildwinkel

Weitwinkeladapter

Mit Hilfe des getesteten Weitwinkeladapters konnte der Bildwinkel der HC550 von 40° auf etwa 55° erweitert werden. Jedoch überzeugt die optische Qualität der Aufnahmen nicht. Bei äusserer Montage des Weitwinkeladapters entstand eine starke Vignettierung (Abbildung 14). Bei innerer Montage entstand zwar keine Vignettierung, jedoch waren die Aufnahmen unscharf. Zudem wirken sie verzerrt und im Randbereich sind chromatische Aberrationen erkennbar. Durch den grösseren Bildwinkel, kann bei einer Objektdistanz von 300 mm die Durchgangsröhre der Mostela noch ganz abgebildet werden, wodurch die Mostela um maximal 28 cm verkürzt werden könnte.

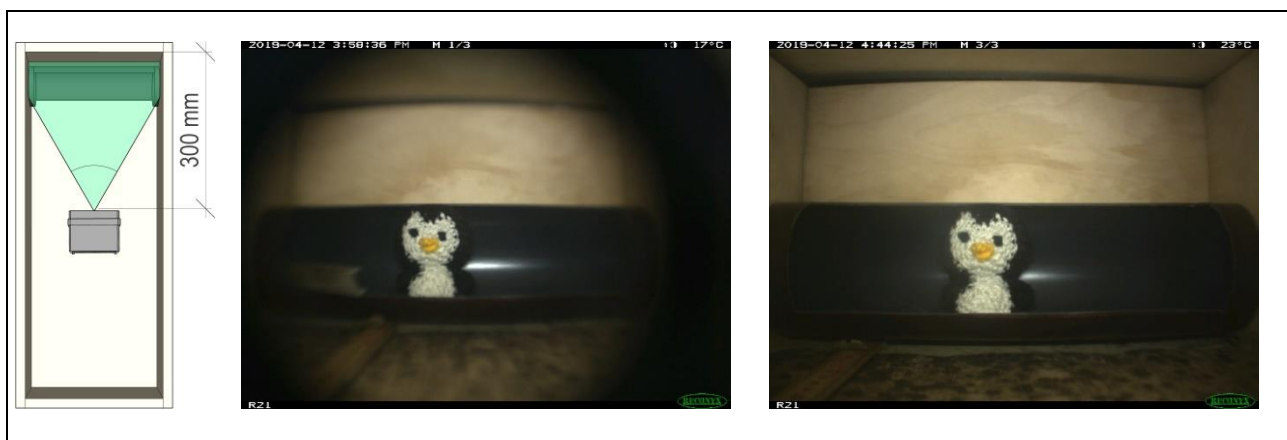


Abbildung 14: Versuche mit Weitwinkeladapter mit 300 mm OD und 300 mm Planokonvex-Nahlinse. Links: Aufnahme bei äusserer Montage des Adapters, rechts: Aufnahme bei innerer Montage des Adapters. *Quelle: Eigene Aufnahmen und Darstellungen.*

Weitwinkelobjektive

Der Bildwinkel konnte mit Weitwinkelobjektiven noch weiter vergrössert werden. Zudem konnte mit ihnen optisch bessere Ergebnisse erzielt werden. Einzig verbliebenes Manko ist hier die Bildverzerrung. Diese wurde versucht, mit der Anwendung «adaptiven Weitwinkelkorrektur» in Photoshop CC 2015 zu korrigieren (Abbildung 15).



Abbildung 15: Adaptive Weitwinkelkorrektur. Links: vor der Korrektur mit Photoshop CC 2015, rechts: nach der Korrektur. *Quelle: Eigene Aufnahmen und Bearbeitung.*

Reconyx HC550

Bereits mit der grössten getesteten Brennweite von 6 mm (Objektiv 1) konnte ein Bildwinkel von ungefähr 65° erreicht werden, wodurch auch bei 25 cm Objektdistanz noch die ganze Durchgangsröhre abgebildet werden konnte (Abbildung 16). Dadurch könnte die Mostela um insgesamt 33 cm verkürzt werden.



Abbildung 16: Aufnahme mit Objektiv 1 (6mm Brennweite), OD 250 mm (Reconyx HC550). Quelle: Eigene Aufnahme und Darstellung.

Bei Verwendung noch kleinerer Brennweiten war der Bildwinkel so gross, dass das Sichtfeld durch Teile des Kameragehäuses eingeschränkt wurde. Durch Entfernen nicht funktionsrelevanter Teile im Sichtfeld beider Kameras, konnte dieser Effekt etwas reduziert werden. Bei 4 mm Brennweite (Objektiv 2, ca. 100°) war danach das Sichtfeld fast frei (Abbildung 17, oben rechts), bei 3.6 mm (Objektiv 3, ca. 105°) war die verbleibende Sichtfeldeinschränkung grösser (Abbildung 17, unten rechts).

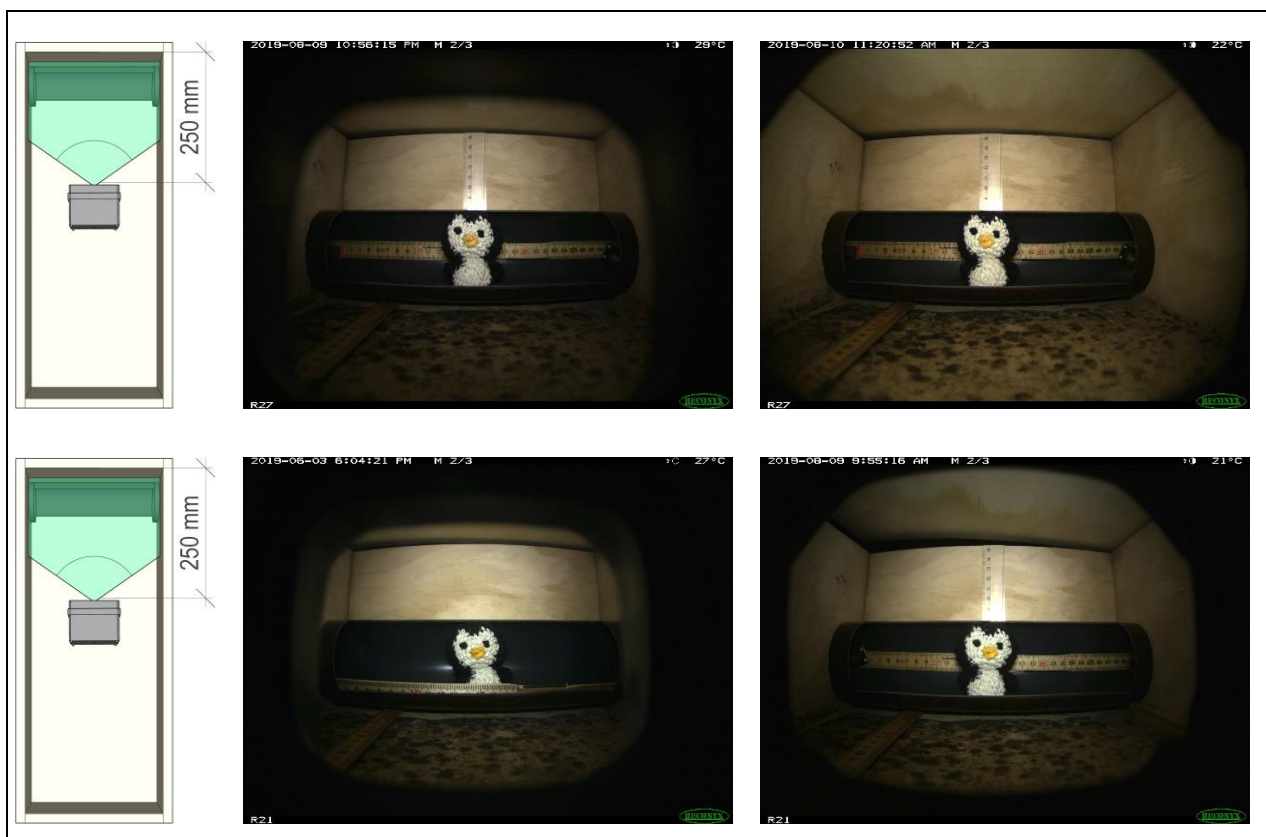


Abbildung 17: Aufnahmen mit umgebauter Reconyx HC550 bei OD 250mm. Oben: Objektiv 2 (Brennweite 4mm), unten: Objektiv 3 (Brennweite 3.6mm) Links: in Originalgehäuse, rechts: nach Entfernen von nichtfunktionsrelevanten Teilen in Sichtfeld. Quelle: Eigene Aufnahmen und Darstellung.

Reconyx HP2W

Der Objektivanschluss von der HP2W war zu kurz, um die Objektive 4, 5 und 7 im richtigen Abstand zum Sensor platzieren zu können, weswegen ein Objektivanschluss mit längerem Gewinde montiert wurde. Als Alternative wurde versucht, den bestehenden Objektivanschluss mit S-mount Erweiterungsringen zu verlängern. Dies war zwar möglich, jedoch verhinderte die Verdickung im Übergangsbereich der beiden Einzelteile das ungehinderte Eindrehen des Objectives an die richtige Stelle. Als die Objektive an der richtigen Stelle fixiert waren, liess sich das Gehäuse der Kamera bei Objektiv 4 und 5 nicht mehr schliessen, da sie zu lang waren. Deshalb konnten nur Aufnahmen mit Objektiv 6 und 7 gemacht werden (Abbildung 18). Bei Objektiv 7 liess sich das Gehäuse nur ganz knapp schliessen, wodurch dieses Objektiv nach Einbau deutlich näher am Sichtglas lag, als Objektiv 6. Mit Objektiv 7 kann ein Bildwinkel von ungefähr 110° aufgenommen werden.

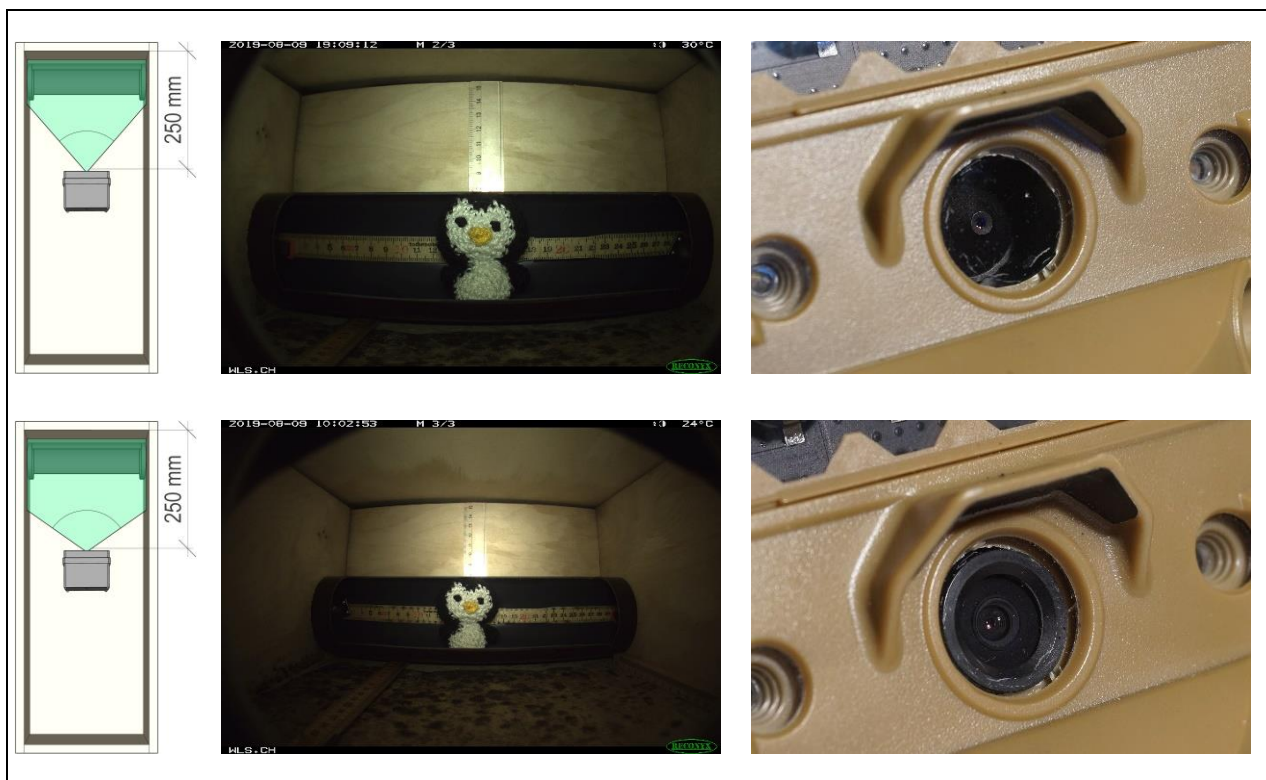


Abbildung 18: Aufnahmen mit umgebauter Reconyx HP2W bei OD 250mm. Oben: Objektiv 6 (3.7 mm Brennweite) mit grosser Entfernung von Objektiv zu Sichtglas, unten: Objektiv 7 (2.8mm Brennweite) mit kleiner Entfernung von Objektiv zu Sichtglas nach Einbau. Quelle: Eigene Aufnahmen und Darstellung.

4.3 Bauweise

Die Länge der Prototypen wurde den neuen, möglichen Bildwinkel angepasst: Die bei einer Objektdistanz von 250 mm mit den neuen Bildwinkel abgebildete Bildbreiten (Abbildung 17, Abbildung 18) entsprechen ungefähr jener, welche in der Mostela von Jud (2018) mit den Originalobjektiven abgebildet wurde (Abbildung 13 bei 580 mm). Daher wurde die Länge der Prototypen auf diese Objektdistanz ausgerichtet. Stellt man die Reconyx HC550 mit ihrer Rückseite an eine Wand, so befindet sich das Objektiv rund 8 cm von dieser entfernt. Daher wurden 8 cm zur Objektdistanz addiert, was zusammen die ungefähre Innenlänge aller Prototypen von 33 cm ergibt. Die Aussenlänge der Prototypen variiert je nach verwendetem Baumaterial ein wenig, ist mit rund 35 cm jedoch nur noch ungefähr halb so lang wie jene der ursprünglichen Mostela.

Insgesamt habe ich 7 Prototypen gefertigt. Prototyp 1 in der Bauweise «geschraubt», Prototyp 2 & 3 in der Bauweise «faltbar» und die Prototypen 4 bis 7 in der Bauweise «steckbar». Im Folgenden werden die drei Bauweisen, ihre Prototypen und deren Bewertung vorgestellt. Fotografien aller Prototypen finden sich zudem in Anhang C.

Geschraubt (Abbildung 19)

Ähnlich wie die ursprüngliche Mostela wurde Prototyp 1 zusammengeschraubt. Jedoch wurde hierfür dünneres Birkensterrholz in 12 mm Stärke verwendet. Die Seiten- und Rückwände wurden auf der Kehlmaschine mit einem 12 mm breiten Fräser, 5 mm tief genutet, damit der Boden darin eingelassen werden konnte. Der Deckel steht in jede Richtung 1 cm über, damit Regenwasser schlechter in die Kiste hineingelangen kann. Bei der Bauweise «geschraubt» entspricht die Lager- und Transportgrösse der Einsatzgrösse.

Faltbar (Abbildung 20)

Nicht so bei der «faltbaren» Bauweise, hier lassen sich Boden und Deckel einfach entfernen und der übrig bleibende Rahmen zusammenfallen. Die Seiten- und Rückwände sind über Scharniere so miteinander verbunden, dass sich der Rahmen nach Entfernen des Bodens und Deckels von einem Rechteck, in ein Rhomboid bis hin zu einem flachen Körper verschieben lässt. Dafür wurden bei zwei gegenüberliegenden Ecken, das Baumaterial in Gehrung geschnitten und die Scharniere aussenseitig montiert. Bei den zwei anderen Ecken wurden die Scharniere inwendig montiert, wobei hier das Baumaterial über ein Stoss verbunden wird. Die Seiten- und Rückwände sind genutet. Jedoch ist eine Rückwand bis auf die Höhe der Nut eingekürzt. Dadurch entsteht bei dieser Rückwand eine Öffnung, durch welche der Boden eingeschoben werden kann. Dabei wird er durch die Nuten der Seitenwände geführt und kann so bis in die Nut der gegenüberliegenden Rückwand geschoben werden. Der Deckel kann über zwei Renovierbänder an eine Seitenwand gesteckt werden. Die Prototypen 2 und 3 wurden nach dieser Bauweise gebaut.

Prototyp 2 wurde aus 12 mm Birkensperrholz gefertigt, die Scharniere wurden angeschraubt. Die Nut wurde 12 mm breit und 5 mm tief gefräst. Der Deckel steht je 1 cm über alle Seiten. Prototyp 3 wurde aus 6 mm Vollkernplatten gefertigt, die Scharniere wurden angenietet. Die Nut wurde 7 mm breit und 3 mm tief gefräst.

Steckbar (Abbildung 21)

Bei dieser Bauweise lassen sich die einzelnen Komponenten über Zapfenverbindungen zu einer Kiste zusammenstecken und anschliessend mit einem Spanngurt zusammenbinden. Da hierfür keinerlei Schrauben verwendet werden müssen, konnte dünneres Holz für den Bau verwendet werden. Dadurch wird die Kiste für den Transport noch leichter und handlicher.

Ein erster Prototyp (4 – aus 6.5 mm Sperrholz) dieser Bauweise wurde von Hand – Zapfen mit der Bandsäge und Schlitz mit der Oberfräse – gefertigt. Drei weitere Varianten (Prototypen 5, 6 & 7) wurden auf einer CNC-Fräse bei der Schreinerei Hunziker in Thalwil ausgefräst. Prototyp 5 besteht ebenfalls aus 6.5 mm Sperrholz und unterscheidet sich lediglich durch die Herstellungsart von Prototyp 4. Für die Prototypen aus Vollkern (6 & 7) wurden die Schlitz der Zapfenverbindungen wegen der dünneren Materialstärke (5 mm) etwas schmaler gemacht. Ansonsten unterscheidet sich Prototyp 6 nicht vom Design der Prototypen 4 & 5. Bei Prototyp 7 wurden die Zapfen der Rückwände noch mit Hacken erweitert, welche die Stabilität der Kiste während dem Aufbau erhöhen sollen. Detaillierte Ausführungspläne der Prototypen 5, 6 und 7 befinden sich in Anhang B.

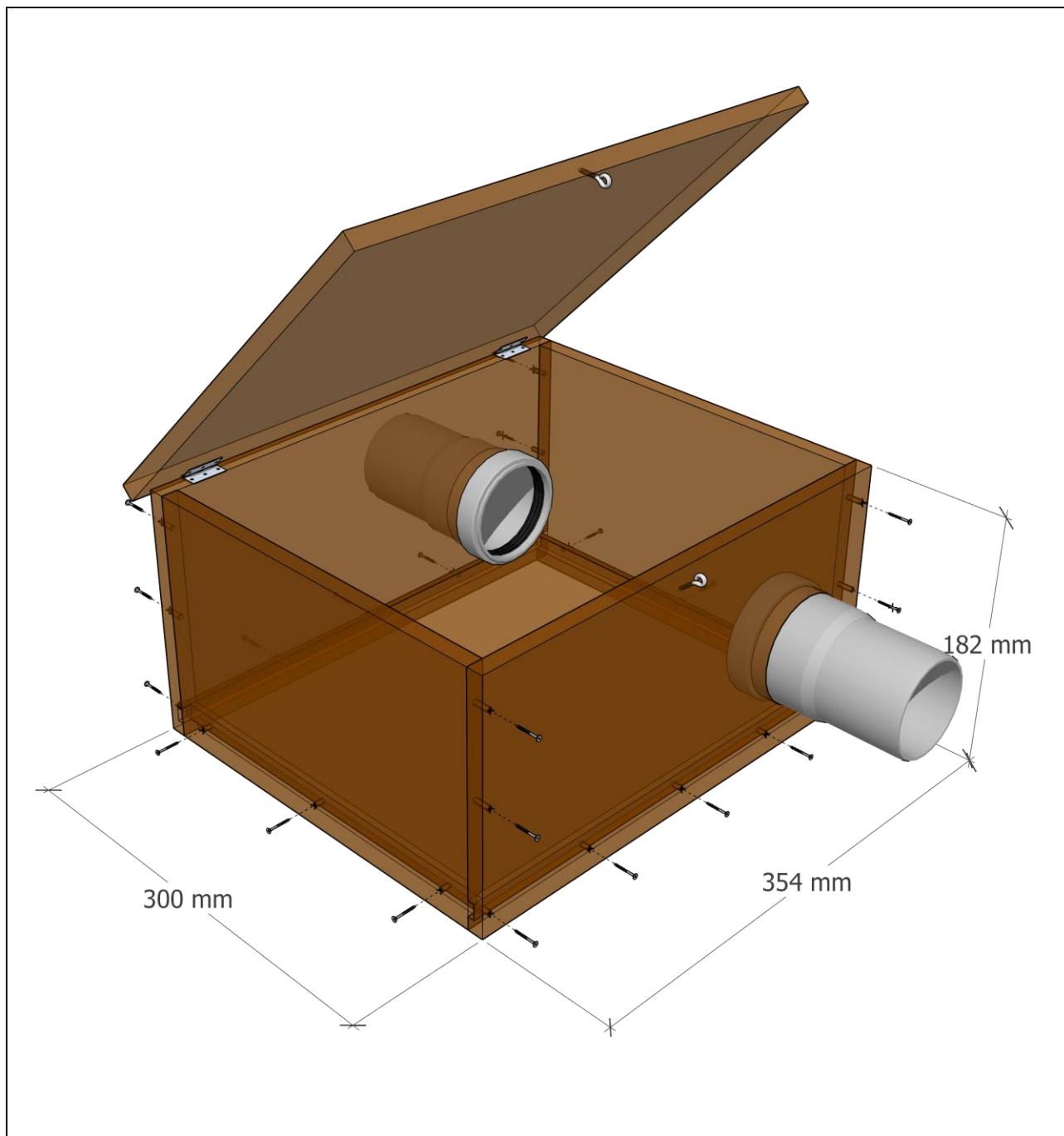


Abbildung 19: Bauweise «geschraubt». Quelle: Eigene Darstellung.

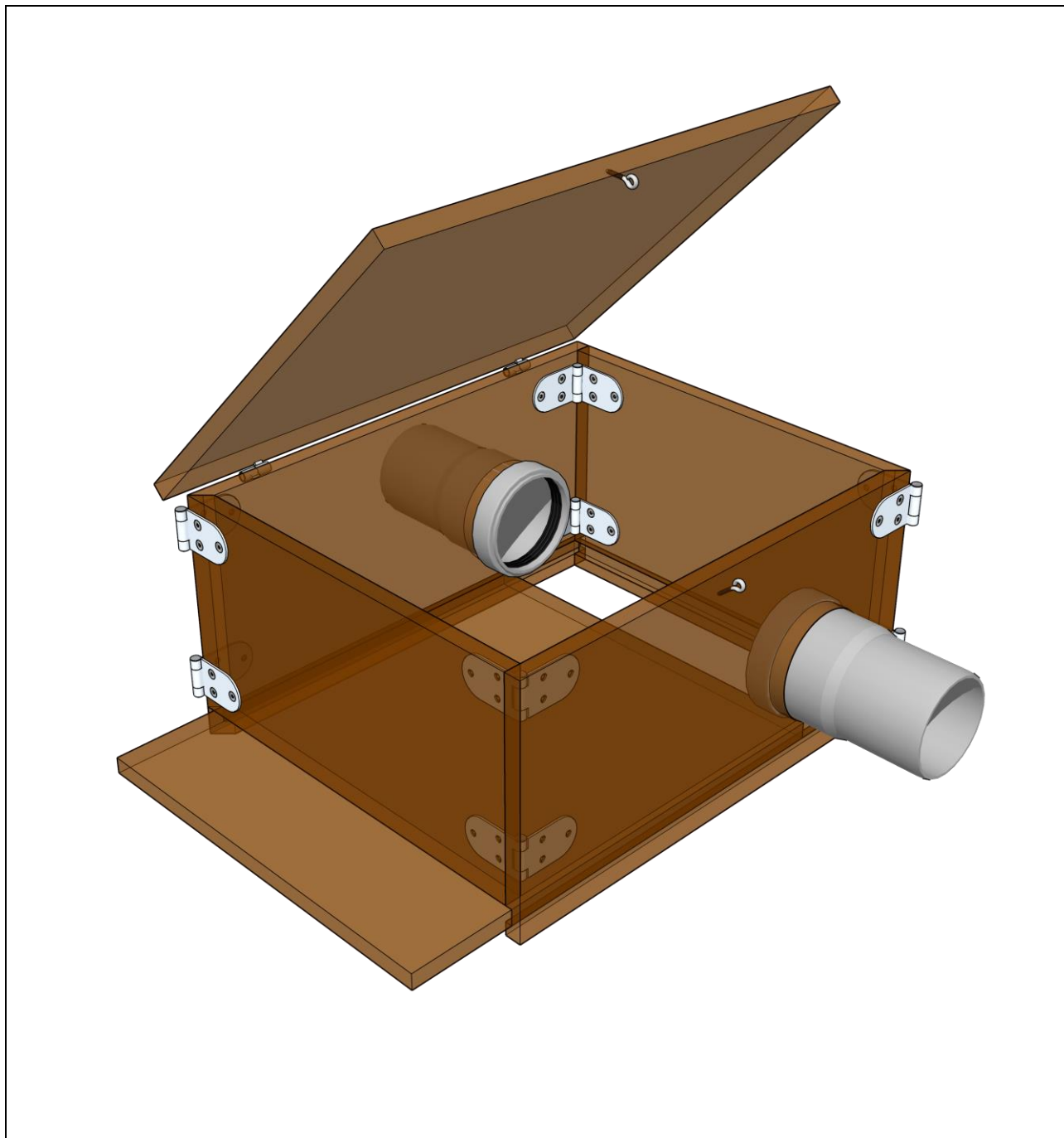


Abbildung 20: Bauweise «faltbar». Quelle: Eigene Darstellung.

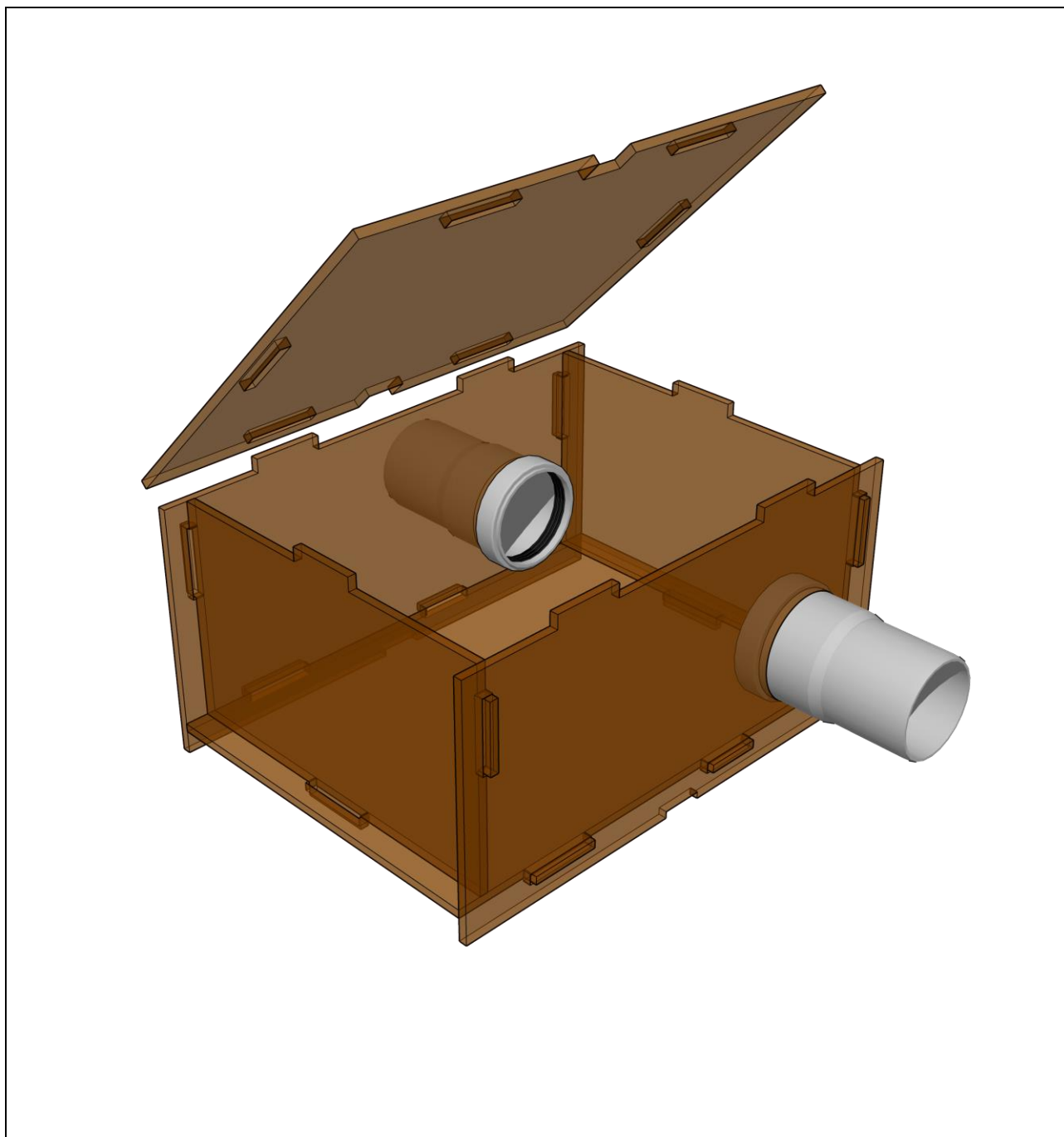


Abbildung 21: Bauweise «steckbar». Quelle: Eigene Darstellung.

Bewertung

Nachfolgend wird die Bewertung der gebauten Prototypen bezüglich deren Handhabung, Beständigkeit und Herstellung erläutert (Tabelle 5). Als Vergleichsbasis für die Bewertung der Prototypen dient die Mostela von Jud (2018). Da diese mit 70 cm Aussenlänge und 9.5 kg Gewicht, länger und schwerer als alle Prototypen ist, wurde deren Handhabung (Gewicht, Transport & Lagerung) mit null Punkten bewertet. Aufgrund der robusten Bauweise ist die Mostela sehr stabil und beständig, weshalb sie für Stabilität und Wetterfestigkeit je drei Punkte erhält. Zudem ist deren Herstellung in der geschraubten Bauweise, ohne Nuten wenig aufwendig (zwei Punkte). Durch den geringen Verbrauch an Zusatzmaterialien (Keine Scharniere) ist die Herstellung relativ kostengünstig, wobei durch die grössere Bauweise mehr Sperrholz benötigt wird als bei anderen Prototypen (zwei Punkte). Zusammengezählt ergibt dies 10 Punkte für die Mostela.

Handhabung

Die Prototypen 1, 2 und 3 sind etwa gleich schwer und mit knapp 4 kg Gewicht deutlich leichter als die Mostela. Sie erhalten daher je ein Punkt für ihr Gewicht. Prototyp 6 und 7 sind mit gut 3 kg noch leichter, weshalb sie je zwei Punkte für ihr Gewicht erhalten. Am leichtesten sind Prototypen 4 und 5, wofür sie mit je drei Punkten bewertet werden.

Prototyp 1 kann für die Lagerung & Transport zwar nicht verkleinert werden, ist jedoch etwa halb so gross wie die Mostela. Dafür kriegt er ein Punkt. Die faltbaren und steckbaren Prototypen können hingegen für die Lagerung & Transport verkleinert werden. Die faltbaren Prototypen erhalten dafür zwei und die steckbaren drei Punkte, da letztere noch ein wenig kleiner gemacht werden können.

Beständigkeit

Durch die geschraubte Bauweise ist Prototyp 1 trotz des dünneren Baumaterials ähnlich stabil wie die Mostela, weshalb auch er drei Punkte für Stabilität erhält. Die faltbaren Prototypen sind bei genau passender Nut auch sehr stabil, jedoch stehen besonders in zusammengefaltetem Zustand mehrere Anbauteile hervor, welche abbrechen könnten. Deswegen erhalten sie nur zwei Punkte für Stabilität. Lediglich ein Punkt wurde allen steckbaren Prototypen vergeben, da die Zapfenverbindungen etwas Spielraum für den Zusammenbau benötigen und daher die Elemente auch nach Umspannung mit einem Spanngurt nur locker zusammenhalten.

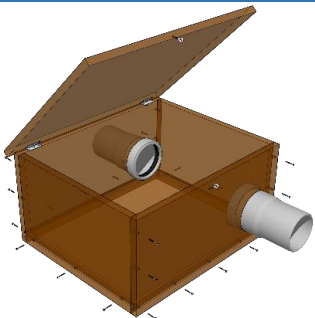
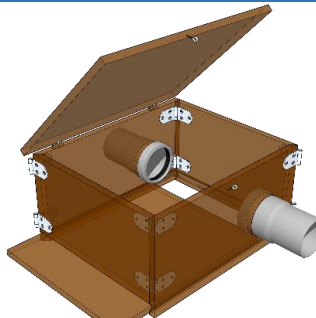
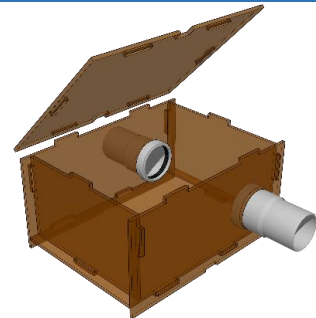
Bezüglich der Wetterfestigkeit sei erwähnt, dass die Bewertung auf der Erfahrung aus den kurzen Feldversuchen und Annahmen basiert. Für eine abschliessende Bewertung, müssten die Prototypen über eine längere Zeit im Feld getestet werden. Alle aus Vollkern gebauten Prototypen (3, 6 & 7) werden als sehr witterungsbeständig eingeschätzt (drei Punkte), da sie

sich im Gegensatz zu Holz vermutlich kaum verziehen oder aufquellen werden. Auch Prototyp 1 wird mit drei Punkten bewertet, weil davon ausgegangen wird, dass das dünnere, behandelte Holz etwa gleich stark quellen wird wie das dickere, unbehandelte Holz der Mostela. Obwohl Prototyp 2 aus dem selben Material wie Prototyp 1 gebaut wurde, kriegt er für Wetterfestigkeit nur ein Punkt. Die faltbare Bauweise ist nämlich sehr anfällig auf Quellung. Um eine gewisse Stabilität zu erreichen, muss die Nut für den einschiebbaren Boden passgenau sein. Bereits eine minime Quellung des Bodens oder der Nut würde daher den Boden in seiner Position blockieren, wodurch die Kiste nicht mehr zusammengefaltet werden könnte. Zudem kann eine Quellung durch Behandlung der Schnittflächen kaum verhindert werden, da sich der aufgetragene Lack beim Verschieben des Bodens sowohl von den Nuten, als auch von den Seitenflächen des Bodens abschabt. Da die Zapfenverbindungen der Prototypen 4 & 5 relativ locker sind, wird quellendes Holz in den Verbindungen weniger problematisch sein. Durch die geringe Materialstärke könnte sich jedoch das Holz deutlich stärker verziehen, was besonders in den Ecken zu Spalten führen könnte, da dort kaum ein Verbund vorhanden ist (zwei Punkte).

Herstellung

Prototyp 1 erhält für Materialkosten ein Punkt mehr als die Mostela, weil er bei nahezu gleicher Bauweise, aufgrund seiner kleineren Grösse, aus weniger Material besteht. Der zusätzliche Arbeitsschritt des Nutens macht ihn jedoch etwas aufwendiger, weshalb er nur ein Punkt für Herstellungsaufwand erhält. Die Herstellung der Prototypen 2 und 3 ist aufgrund der teuren Anbauteile (ein Chromstahlscharnier kostet ungefähr 8.- Sfr.) und deren zeitintensiven Montage, teurer und aufwendiger als jene der anderen Prototypen. Prototyp 3 erhält nur ein Punkt für Aufwand, Prototyp 2 keine Punkte, da bei ihm zudem die Schnittflächen behandelt werden müssen. Für alle steckbaren Prototypen werden keinerlei Schrauben oder Anbauteile benötigt, was zusammen mit der geringen Materialstärke zu tiefen Materialkosten führt. Sie erhalten daher je drei Punkte. Prototyp 4 erhält für den Herstellungsaufwand keine Punkte, da die Behandlung seiner Schnittflächen, wie auch die Erstellung der vielen Zapfenverbindungen von Hand sehr zeitintensiv ist. Bei den Prototypen 5, 6 und 7 entfällt durch den Zuschnitt mit CNC-Fräse viel Arbeit. Bei Prototyp 5 müssen daher lediglich die Kanten gefast und die Schnittstellen behandelt werden (zwei Punkte). Bei Prototyp 6 & 7 entfällt zudem die Behandlung der Schnittstellen, wodurch der Herstellungsaufwand bei diesen Prototypen am geringsten ist (drei Punkte).

Tabelle 5: Bewertung der Mostela von Jud (2018) und Prototypen nach Handhabung, Beständigkeit und Herstellung. *ohne Kamera, Lineal, Holzbrettchen, PP-Rohre und Spanngurte. **Beruht auf Annahmen. *Quelle: Eigene Messungen und Darstellung.*

Bauweise		geschraubt		faltbar		steckbar	
							
Modell		Mostela	Prototyp 1	Prototyp 2	Prototyp 3	Prototyp 4 & 5	Prototyp 6 & 7
Material		Sperrholz 18 mm	Sperrholz 12 mm	Sperrholz 12 mm	Vollkern 6 mm	Sperrholz 6.5 mm	Vollkern 5 mm
Handhabung	Gewicht*	9.5 kg	3.9 kg	3.9 kg	3.7 kg	2 kg	3.1 kg
	Transport & Lagerung	-	•	•	•	•••	••
Beständigkeit	Stabilität	•••	•••	••	••	•	•
	Wetterfestigkeit**	•••	•••	•	•••	••	•••
Herstellung	Materialkosten	••	•••	-	-	•••	•••
	Aufwand	••	•	-	•	- / ••	•••
Gesamtpunktzahl		10	12	6	9	12 / 14	15

4.4 Bildqualität

Hintergrundfarbe

Die Anlockung der Tiere mit Erdnussbutter hat gut funktioniert, wodurch pro Nacht mehrere Hundert Bilder von Waldmäusen (*Apodemus sp.*) aufgenommen werden konnte. Um den Effekt der Hintergrundfarbe auf Belichtung und Kontrast vergleichen zu können, habe ich pro Hintergrundfarbe jeweils eine Aufnahme ausgewählt, auf denen eine Waldmaus aufrecht vor dem Hintergrund steht (Abbildung 22). Auf den Farbfotos fällt auf, dass besonders bei den Hintergrundfarben braun und schwarz das Fell gut ausgeleuchtet ist. In den Schwarz-Weiss-Aufnahmen sind es jedoch gerade diese zwei Hintergrundfarben, welche am wenigsten Kontrast zum Tier aufweisen. Grün und grau weisen hier schon etwas mehr Kontrast auf, am deutlichsten hebt sich der Körper jedoch bei weissem Hintergrund ab.

Streuung Blitz

Mit Hilfe von Backtrennpapier konnte die Streuung des Weissblitzes sichtbar verbessert werden (Abbildung 23). Ohne Backtrennpapier (a) war die Kiste sehr unregelmässig ausgeleuchtet. So war die Mitte des Bildes zwar gut ausgeleuchtet, der Randbereich blieb jedoch sehr dunkel. Mit zunehmender Anzahl Backtrennpapier wurden die Randbereiche immer mehr ausgeleuchtet. Allerdings kann ab 5 Lagen Backtrennpapier (d) auch eine zunehmende Vergilbung der Aufnahmen festgestellt werden.

Bildqualität insgesamt

Vergleicht man Aufnahmen des neuen Systems mit jenen von Jud (2018) wird die Verbesserung der Bildqualität deutlich sichtbar (Abbildung 24). Die Bilder sind nicht nur farbig, sondern wirken klarer und struktureicher. Weiter können Tiere auch dann noch aufgenommen werden, wenn sie die Leitstruktur verlassen und ein Stückweit Richtung Kamera laufen. Zudem sind nun auch jene Körperteile sichtbar, welche mit der durchgängigen Röhre in der Mostela verdeckt wurden.

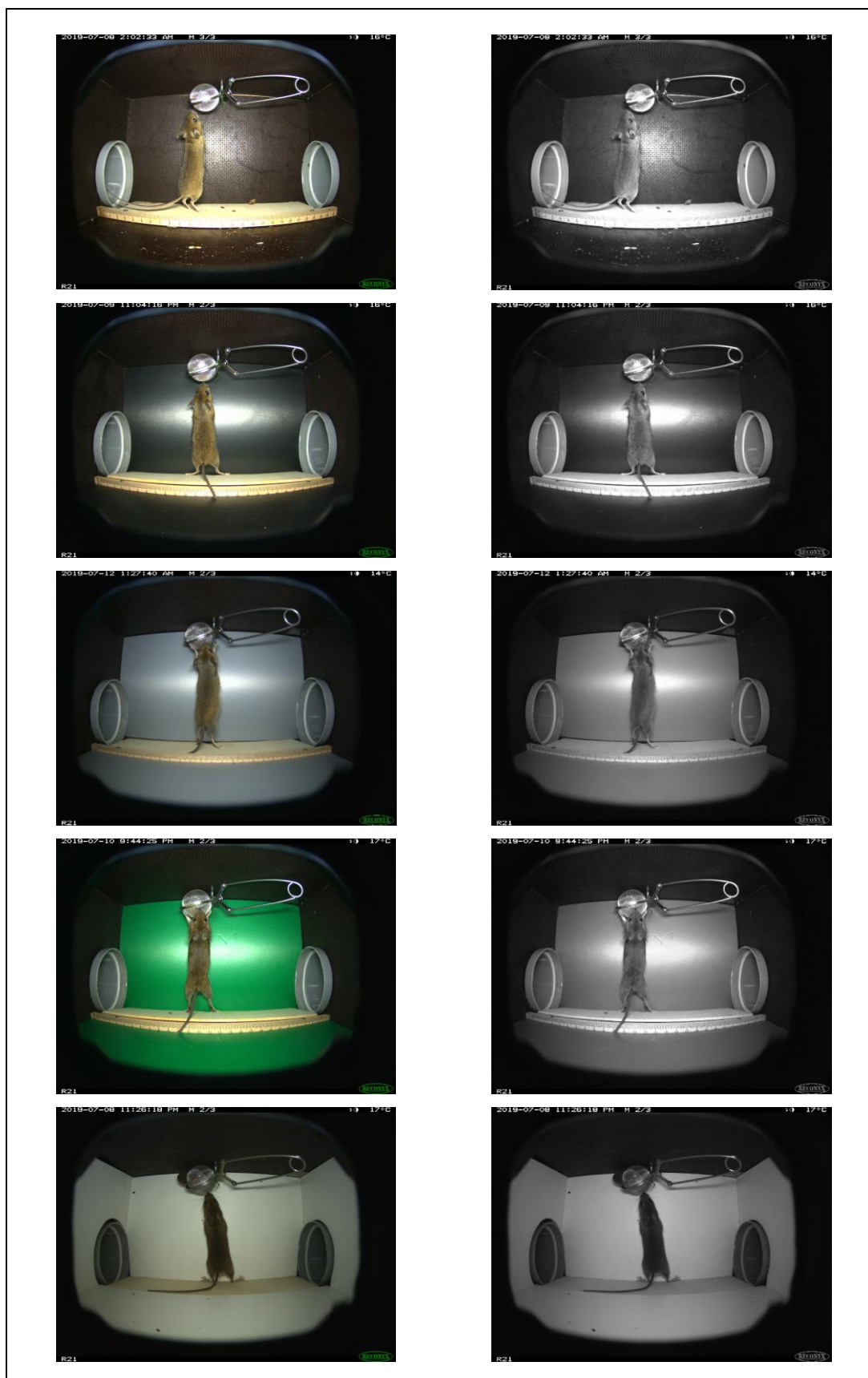


Abbildung 22: Vergleich von Kontrast und Belichtung bei verschiedenen Hintergrundfarben, in Prototyp 2, mit HC550, 5 Lagen Backtrennpapier und Objektiv 3. Von oben nach unten: braun, weiss, grün, schwarz, grau. Links: Farbfotos, rechts: Schwarz-Weiss-Fotos. Quelle: Eigene Aufnahmen.

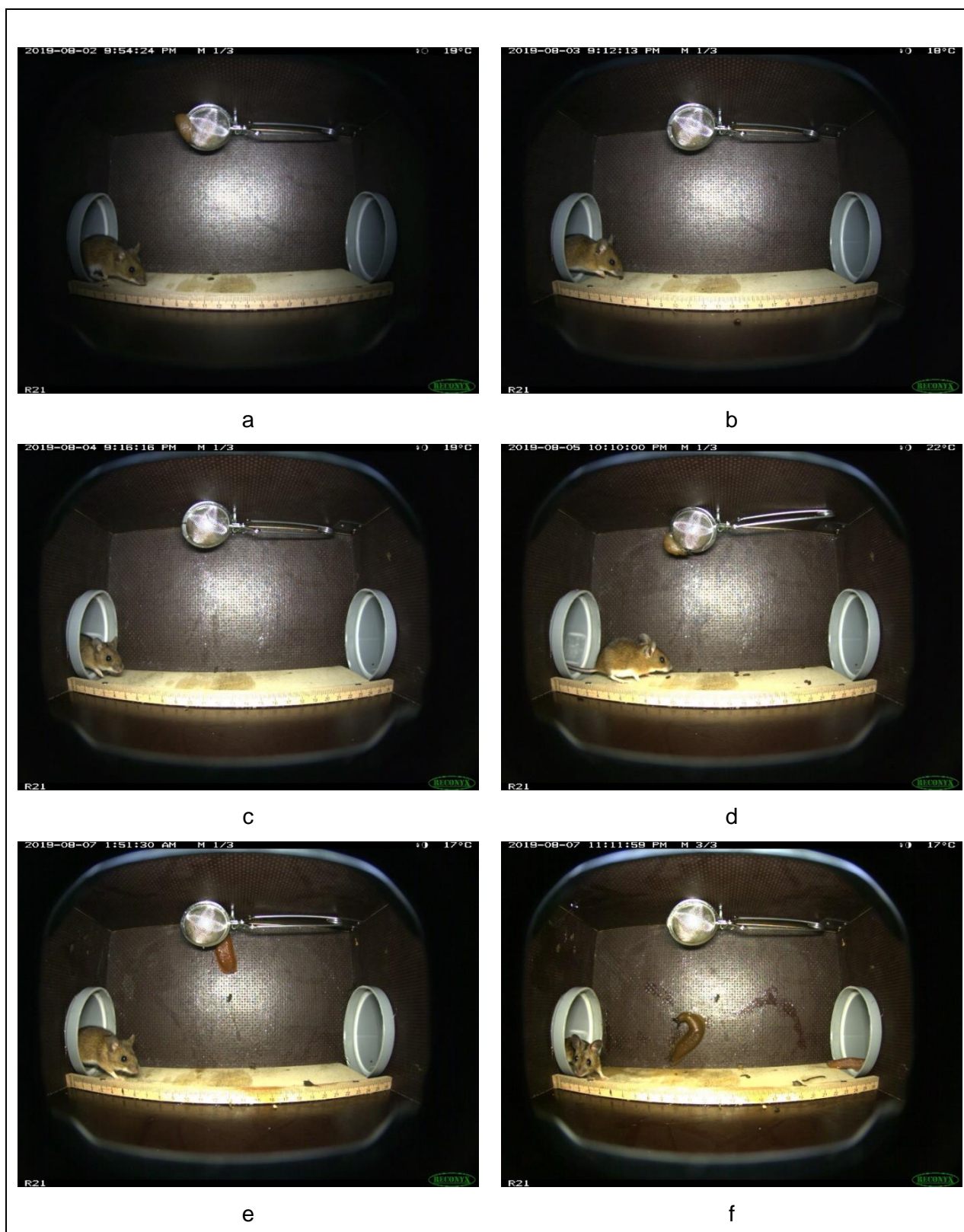


Abbildung 23: Aufnahmen mit unterschiedlicher Anzahl Backrennpapierlagen vor dem Weissblitz der HC550 in Prototyp 2 mit Objektiv 3. A) ohne Backrennpapier, b) 1 Lage Backrennpapier, c) 3 Lagen Backrennpapier, d) 5 Lagen Backrennpapier, e) 7 Lagen Backrennpapier, f) 9 Lagen Backrennpapier. *Quelle: Eigene Aufnahmen.*

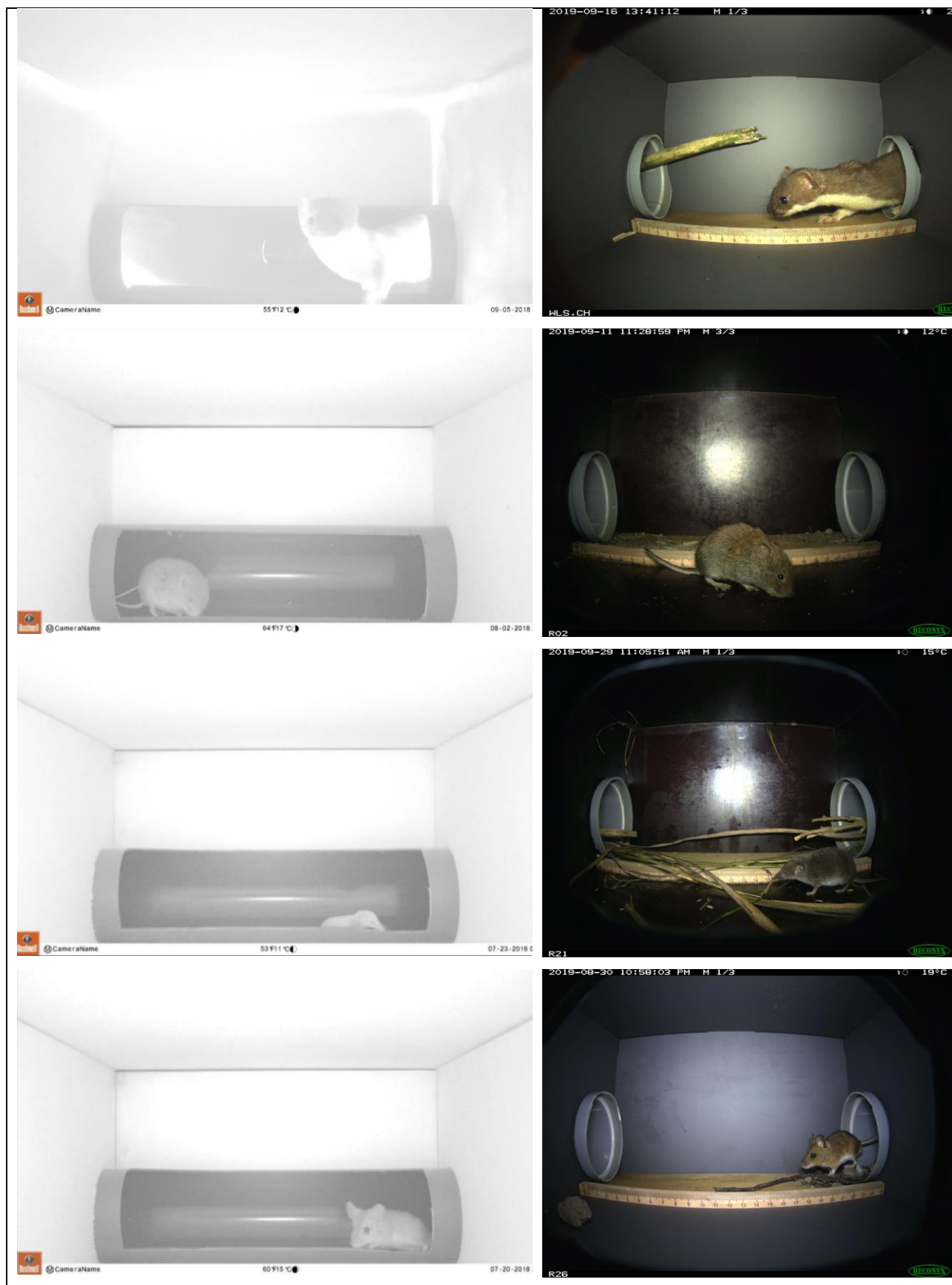


Abbildung 24: Vergleich von Aufnahmen verschiedener Tiere. Links: Aufnahmen von Jud (2018), rechts: Aufnahmen im neuen System. Von oben nach unten: Hermelin, sowie Vertreter der Familien *Cricetidae*, *Soricidae* und *Muridae*. Quelle: (Jud, 2018), Eigene Aufnahmen im Rahmen des Monitorings von Wiesel und Co.

5 Diskussion

5.1 Fokus

Mit beiden getesteten Lösungsansätzen konnte der Fokus geändert werden. Beide haben ihre Vor- und Nachteile.

Erhöhung der Brechkraft

Die kleinen Planokonvex-Nahlinen konnten mit Klebeknete einfach auf das Sichtglas der Kameras montiert werden. Weil hierzu das versiegelte Gehäuse der Kameras nicht aufgeschraubt werden muss, bleibt deren Garantie erhalten. Zudem können die Nahlinen ohne Rückstände wieder entfernt werden. Die Kamera wird also insgesamt nicht irreversibel abgeändert, was bei erwünschter Wiederherstellung des Originalzustandes von Vorteil ist. Jedoch ist zu befürchten, dass sich die Klebeknete bei extrem warmen oder kalten Temperaturen vom Sichtglas ablöst. Andere Klebekomponenten würden sich jedoch vermutlich weniger gut entfernen lassen. Zudem überzeugte die Tiefenschärfe besonders bei den kleinen Objektdistanzen nicht.

Erhöhung Abstand Objektiv- Sensor

Bei dieser Methode musste das versiegelte Gehäuse der Kameras geöffnet werden, wodurch die Garantie verloren ging. Die Suche nach dem passenden Abstand zwischen Objektiv und Sensor war ohne Live-Bild umständlich. Mit der FlashAir SD-Karte liessen sich zwar Bilder über WiFi auf den Computer übertragen, da dieser nach jeder Auslösung neu mit dem WiFi verbunden werden musste, erwies sich dieser Ansatz nicht wirklich als zeitsparend. Auch die Datenübermittlung über den USB-Ausgang hat nicht funktioniert. Dieser wurde vom Hersteller wahrscheinlich lediglich zur Werkseinstellung des Fokus benutzt und anschliessend deaktiviert (mündlich, Josquin Rosset, 2019).

Neben den genannten Nachteilen hat der zweite Lösungsansatz letztendlich aber einen entscheidenden Vorteil. Bei sämtlichen Kameras mit Gewindeobjektivhalterungen kann, durch Drehen des Objektivs, der Abstand zum Sensor und somit der Fokus stufenlos verstellt werden. Dadurch kann mit jedem Objektiv jede beliebige Objektdistanz scharf gestellt werden. Im Vergleich dazu kann mit einer Nahlinse nur genau ein Fokusbereich abgedeckt werden. Da für die Fokuseinstellung über das Objektiv auch keine zusätzlichen Einbauteile notwendig sind, ist diese Methode insgesamt flexibler, auch wenn die Fokussuche ohne Live-Bild etwas anstrengend sein kann. Dies dürfte längst nicht bei allen Kameramodellen ein Problem sein, da einige Fotofallen für die Übertragung von Live-Bildern ausgerüstet sind. Beispielsweise wird die «Bushnell NatureView HD» optional mit Videoausgang und passendem externem Bildschirm angeboten. Wenn zum Einsatz in einem verkürzten System wie bei den verwendeten Fotofallen, das Objektiv sowieso ausgetauscht wird, muss der Fokus zwangsläufig über das Objektiv eingestellt werden, egal ob ein Live-Bild möglich ist oder nicht.

Die Verwendung von Nahlinen kommt daher nur für wenige Anwendungen in Frage. Einerseits wenn der Abstand des bestehenden Objektivs nicht geändert werden kann, weil entweder der Objektivanschluss nicht über ein Gewinde verfügt oder das Objektiv im Gewinde verleimt ist. Andererseits dann, wenn am Originalzustand der Kamera nichts verändert werden darf oder der Bildwinkel genügend gross ist und zudem die Fokuseinstellung des Originalobjektivs nicht geändert werden soll. Durch Entfernen der Nahlinse wäre in diesen Fällen nämlich der Originalzustand sehr schnell wiederhergestellt. Für alle anderen Anwendungen empfiehlt es sich jedoch, den Fokus direkt über das Objektiv einzustellen.

In der Praxis sollte besonders bei Objektiven mit geringer Tiefenschärfe, die Fokusebene so eingestellt werden, dass diese nicht direkt auf der Rückwand zu liegen kommt, sondern genau dort, wo die Tiere durchlaufen werden. Bei der angewendeten Bauweise ist dies ungefähr mittig zwischen Rückwand und Lineal zu erwarten, also etwa 5 cm vor der Rückwand entfernt.

5.2 Bildwinkel

Weitwinkeladapter

Der verwendete Weitwinkeladapter war sehr günstig, was sicher mit ein Grund für die schlechten optischen Ergebnisse war. Obwohl mit hochwertigeren Adaptern wahrscheinlich bessere Resultate erzielt werden könnten, habe ich bewusst auf weitere Tests verzichtet. Hochwertigere Adapter sind nämlich meist deutlich grösser als jener der getestet wurde, wodurch die erforderliche Montage im Gehäuseinneren verunmöglicht worden wäre.

Weitwinkelobjektive

Mit Hilfe von Weitwinkelobjektiven war die Qualität der Aufnahmen besser, einzig verbliebenes Manko war die Bildverzerrung. Falls sich diese bei der Bestimmung der Tiere als hindernd erweisen sollte, könnte sie nachträglich herausgerechnet werden (Abbildung 15). Damit dies nicht für jede Aufnahme einzeln gemacht werden muss, sollte hierfür jedoch ein automatisierter Lösungsansatz verwendet werden. Dafür würde sich beispielsweise die Stapelverarbeitung von Photoshop oder Lightroom eignen. Da somit auch dieser Bildfehler behoben werden kann, ist der Austausch der Objektive insgesamt die bessere Lösung zur Bildwinkelerweiterung. Falls jemand speziell für den Einsatz im verkürzten System eine Fotofalle kaufen will, könnte jedoch durch Wahl eines weitwinkligen Modells, der Umbau ganz erspart werden.

Um einen möglichst grossen Bildwinkel abbilden zu können, sollte beim Umbau einer Kamera die Brennweite so gewählt werden, dass das vorhandene Sichtfeld (Kameragehäuse) bestmöglich ausgenutzt wird. Für die Reconyx HC550 lag die kleinste sinnvolle Brennweite bei 4 mm. Durch Verwendung einer noch kleineren Brennweite (3.6 mm) wurde das Sichtfeld der Kamera weiter eingeschränkt (Abbildung 17). Der Blickwinkel der HC550 konnte somit von originalen 40° auf rund 100° (4mm) erhöht werden.

Wie stark das Sichtfeld eingeschränkt wird, scheint zusätzlich vom Abstand zwischen Objektiv und Sichtglas abhängig zu sein. Dies wurde beim Umbau der HP2W ersichtlich. Schaut man sich die Aufnahme von Objektiv 6 genauer an, so ist das Sichtfeld in der linken unteren Ecke bereits etwas eingeschränkt (Abbildung 18, oben). Bei zusätzlicher Erweiterung des Bildwinkels wäre deshalb zu erwarten, dass ähnlich wie beim Sprung von 4mm auf 3.6mm bei der HC550, das Sichtfeld weiter eingeschränkt wird. Dies war jedoch bei den Aufnahmen mit Objektiv 7 nicht der Fall (Abbildung 18, unten). Die beiden Objektive unterschieden sich deutlich in ihrer Länge, weshalb sich Objektiv 7 näher am Sichtglas befindet. Die Objektivlänge sollte daher idealerweise so gewählt werden, dass das Objektiv möglichst nahe am Sichtglas liegt. Die kleinste sinnvolle Brennweite für die HP2W lag somit bei 2.8mm, was ungefähr 110° Bildwinkel entspricht (Original 36°).

Obwohl der Erfassungswinkel des PIR-Sensors nicht verändert wurde, haben beide Kameras auch nach Austausch der Objektive zuverlässig ausgelöst. Jedoch stellt sich die Frage, ob durch Ausbau des schwenkbaren Infrarotfilters bei der HP2W allenfalls mit Funktionseinbussen zu rechnen ist. Die meisten Standardbildsensoren decken auch einen Teil des Infrarotspektrums ab, welches mit 700 - 1000 nm gerade neben jenem des sichtbaren Lichts (390 – 700 nm) liegt. Trotzdem wird dieses Infrarotlicht meist mit einem Filter geblockt, weil es sonst Einfluss auf Bildton und Kontrast der Aufnahmen hat (Lässt die Bilder rosafarben und kontrastarm erscheinen) (Wearn & Glover-Kapfer, 2017). In Kameras mit Infrarotblitz muss dieser Filter jedoch weggeschwenkt werden können, damit das ausgestrahlte Infrarotlicht auch auf den Sensor treffen kann. Da die HP2W kein Infrarotblitz hat, muss bei ihr der Infrarotfilter nicht geschwenkt werden können. Vermutlich verfügt die HP2W über einen schwenkbaren Infrarotfilter, weil ihr Schwestermodell (HP2X mit Infrarotblitz) auf diesen angewiesen ist und in beide Modelle einfachheitshalber dasselbe Objektiv verbaut wurde. Durch den Ausbau des schwenkbaren Infrarotfilters sollten also keine Funktionseinbussen entstehen, es könnte sogar ein Vorteil sein, denn das Schwenken des Sensors führt meist zu einem hörbaren Klickgeräusch (Wearn & Glover-Kapfer, 2017), was einige Tiere erschrecken könnte.

Bei der Suche nach den passenden Objektiven fiel auf, dass die Herstellerinformationen oft sehr lückenhaft sind, was die Objektivwahl trotz der Anleitung von (Simon, 2017) etwas erschwerte (Tabelle 4). So fehlen beispielsweise bei sechs von sieben Objektiven die Angaben zur Blendenzahl.

Auch die zum Objektiv passende Sensorauflösung wurde nur selten angegeben. Lediglich bei dem teuersten Objektiv, waren alle notwendigen Angaben vorhanden. Weiter existieren bezüglich des Bildwinkels von getesteten Objektiven teilweise widersprüchliche Angaben. Theoretisch sollten die Objektive 5 und 6 fast denselben Bildwinkel haben, da sie laut Herstellern beide für 1/3" Sensoren hergestellt wurden und über fast dieselbe Brennweite (3.6mm und 3.7mm) verfügen. Der Unterschied ist jedoch beträchtlich: Gemäss den Herstellern hat Objektiv 5 ein Blickwinkel von 85° und Objektiv 6 104°. Die in den Resultaten angegebenen Bildwinkel wurden daher trigonometrisch mit Hilfe der gemessenen Bildweite und Objektdistanz berechnet. Selbst wenn die Herstellerangaben zu den Bildwinkeln korrekt wären, würden sie nur dann mit diesen gemessenen Bildwinkeln übereinstimmen, wenn die empfohlene Sensorgrösse mit jener der Kamera übereinstimmt. Da für die HC550 kein Objektiv mit passender Sensorgrösse gefunden werden konnte, erstaunt es nicht, dass bei ihr alle gemessenen Bildwinkel grösser sind, als jene die von den Herstellern angegeben wurden. Beschränkt man sich bei der Objektivwahl nicht ausschliesslich auf teure Objektive, so kommt man aufgrund der mangelnden Herstellerangaben kaum daran vorbei, verschiedene Objektive auszuprobieren. Somit kann die Anleitung zur Wahl des richtigen Objektivs, zumindest im Falle der M12-Objektive, zwar als theoretische Grundlage dienen, in der Praxis ist sie jedoch nicht immer umsetzbar.

5.3 Bauweise

Prototypen

Da der grössere Bildwinkel beim Bau der Prototypen lediglich zur Verkürzung der Bauweise verwendet wurde, war zu erwarten, dass Tiere, welche sich in Richtung Kamera bewegen, nicht besser abgebildet werden können als in der Mostela. Jedoch wird mit Erweiterung des Bildwinkels auch jener Bereich kleiner, welcher nicht von der Kamera erfasst werden kann (Abbildung 4). In einer kleineren Kiste mit grösserem Bildwinkel finden die Tiere insgesamt weniger Platz, um sich zu verstecken. Zudem scheint die Blickrichtung der Reconyx-Fotofallen etwas mehr gegen den Boden geneigt zu sein, als dies bei der Bushnell (Jud, 2018) der Fall war (Abbildung 13 bei 580 mm, Abbildung 24 links). Der erwartete Trade-off zwischen einer möglichst kleinen Kiste und einer möglichst grossen Bildweite war somit weniger gravierend als erwartet. Letztendlich wären die Tiere bei grösserem Bildwinkel und gleichbleibender Objektdistanz für die Bestimmung sowieso viel zu klein abgebildet worden.

Allgemein konnte das System in seiner Handhabung deutlich weiterentwickelt werden. Die steckbaren Prototypen 5, 6 und 7, welche in der Bewertung am besten abgeschlossen haben, wiegen mit 2 respektive 3 kg nur noch einen Bruchteil der Mostela (9.5 kg). Bereits in der Einsatzform sind sie nur

noch etwa halb so gross wie die Mostela. Die noch viel kompaktere Transportform macht das ganze System sogar rucksacktauglich. Dadurch kann das System problemlos auch an entlegenen Orten eingesetzt werden. Dies ist nicht nur gegenüber der Mostela, sondern auch gegenüber den Spurentunnel ein Vorteil. Durch die leichte, kompakte Bauweise sollte auch die erhöhte Platzierung zum Nachweis von Schläfer vereinfacht werden. Die Produktion auf der CNC-Fräse bietet, neben den genannten Vorteilen bezüglich Herstellungsaufwand, auch die Möglichkeit zur Produktion in grösseren Serien. Zudem können künftige Änderungen der Baupläne, sei dies zur weiteren Optimierung des Systems oder zur Anpassung der Dimensionen an ein anderes Kameramodell, bereits im erstellten 3D-Modell auf ihre Konsistenz geprüft werden, bevor diese produziert werden. Die Herstellung mit der CNC-Fräse ermöglicht weiter eine komplett identische Bauweise der Einzelkomponenten. Dadurch könnten bei allfälliger Beschädigung der Kiste nur die betroffenen Komponenten ausgetauscht werden.

Welcher der drei CNC-gefrästen Prototypen letztendlich am besten für den Feldeinsatz geeignet ist, sollte in weiteren Versuchen herausgefunden werden. Dabei kann getestet werden, ob die zusätzlichen Hacken an den Zapfenverbindungen notwendig sind (Prototyp 7), oder eine einfache Zapfenverbindung genügt (Prototyp 6). Weiter kann dabei geklärt werden, ob Prototyp 5 wirklich weniger wetterfest als die Prototypen 6 & 7 ist. Wenn dies nicht zutrifft, wäre Prototyp 5 als «ultraleichte» Variante zu bevorzugen, vorausgesetzt der etwas höhere Herstellungsaufwand (Lackierung der Schnittflächen) wird in Kauf genommen. Falls sich in diesen Feldversuchen die Stabilität der Prototypen 5, 6 und 7 als ungenügend erweisen sollte, könnte notfalls immer noch auf die robusteren Prototypen zurückgegriffen werden. Damit würden jedoch auch die zahlreichen Vorteile, welche die Herstellung mit der CNC-Fräse mit sich bringt, verloren gehen.

Bei der Bewertung der Prototypen wurde eine essentielle Frage nicht berücksichtigt: Zeigen Kleinsäuger genügend Interesse an den Prototypen? Das Interesse der Kleinsäuger an der Mostela wurde von Jud (2018) bestätigt. Durch die neue Bauweise haben sich jedoch zahlreiche Faktoren geändert, welche Einfluss auf das Interesse der Kleinsäuger haben könnten. So wurde beispielsweise in den Prototypen neu ein Weissblitz anstelle eines Infrarotblitzes verwendet, die Länge der Eingangsrohre hat zugenommen und das verwendete Baumaterial wurde nicht naturbelassen, sondern mit Lack behandelt oder besteht gar aus Kunststoff. Inwiefern sich diese und andere Änderungen in der Bauweise auf das Interesse der Kleinsäuger auswirken, kann in weiteren Untersuchungen herausgefunden werden. Dabei wäre ein Vergleich mit der Mostela und den Spurentunnel sinnvoll.

Allgemeines zur Bauweise

Unter dem Holzbrettchen, welches zwischen Rückwand, Lineal und den beiden Öffnungen eingepasst wurde, hat sich in den Feldversuchen viel Kondenswasser gebildet, wodurch sich das Brettchen verbog. Um eine starke Biegung zu verhindern, kann das Brettchen etwas länger gelassen werden, damit es unter den beiden Muffen der PP-Rohre eingeklemmt wird.

Die Zapfenverbindungen der CNC-gefrästen Prototypen klemmen teilweise ein bisschen und müssten daher etwas nachgeschliffen werden. Vor weiteren Anfertigungen empfiehlt es sich daher, die Schlitzte auf den Plänen geringfügig zu vergrössern (ca. +1 mm). Bei dieser Gelegenheit könnten auch die Löcher für die PP-Rohre etwas vergrössert werden. Damit die PP-Rohre in die CNC-gefrästen Prototypen montiert werden konnten, mussten deren Löcher nämlich etwas nachgeschliffen werden. Auf dem Ausführungsplan waren diese mit 78 mm Durchmesser gezeichnet. Bei den handgefertigten Prototypen konnte mit einem Kronenbohrer von 78 mm Durchmesser zwar die passende Lochgrösse gebohrt werden, die Fräsung mit der CNC-Maschine scheint jedoch genauer zu sein, weshalb die Röhren hier bei gleichem Lochdurchmesser nicht gepasst haben. Eine Erhöhung auf 80 mm sollte genügen.

Weiter waren einzelne Rohre nach dem Einbau weniger satt mit der Kiste verbunden, als dies bei anderen der Fall war. Die PP-Rohre scheinen eine gewisse Produktionsungenauigkeit aufzuweisen, weshalb ihr Durchmesser leicht variiert. Eine satte Verbindung zwischen Rohr und Kiste ist jedoch wünschenswert, damit sich das Rohr bei Eintritt eines Tieres nicht bewegt und dieses dabei erschreckt. Ein aufgeschrecktes Tier würde wahrscheinlich das Rohr gleich wieder verlassen, ohne je vor die Kamera getreten zu sein. Deshalb empfiehlt es sich, bei nicht satt passenden Rohren, Kleband in der entsprechenden Dicke auf die Verbindungsstelle zwischen Rohr und Kiste aufzutragen, bis die Verbindung stabil ist. Besonders in Schräglagen könnte die glatte Rohroberfläche zu wenig Haftung bieten und einigen Kleinsäufern das Betreten der Kiste erschweren. Um dies zu vermeiden, wurde bei Platzierung der Prototypen im Feld jeweils etwas Erde und kleine Ästchen als Hilfsstrukturen in die Röhren gelegt. Die Oberflächenbeschaffenheit der Rohre könnte eventuell auch durch Modifikation der Rohre, beispielsweise durch Aufrauen der Oberfläche verbessert werden.

Insgesamt war die Verwendung der PP-Rohre jedoch ein Erfolg. Da sie problemlos von der Kiste entfernt werden können, eignen sie sich gut für jene Prototypen, welche für den Transport zerlegt werden können. Zudem verhindern die, von aussen her montierten, Rohre jegliches Eindringen von Sonnenlicht, wodurch Fehlauflösungen des PIR-Sensors durch Erwärmung im Eingangsbereich

verhindert werden können. Gleichzeitig führt die Abschirmung vom Sonnenlicht zu konstanten Lichtbedingungen im Inneren der Kiste, wodurch eine korrekte Belichtung aller Aufnahmen erleichtert wird. Die Abschirmung des Sonnenlichts hat mit beiden getesteten Rohrlängen (20 cm und 27 cm Gesamtlänge, inklusive Muffe) funktioniert. Kürzere Rohre erwiesen sich bei der Platzierung der Prototypen im Feld jedoch als praktischer, da mit ihnen das System etwas kompakter bleibt. Vermutlich würden auch noch kürzere Rohre das Sonnenlicht genügend abschirmen. Diese wären auch leichter und handlicher für den Transport. Daher würde es sich lohnen, in weiteren Untersuchungen nach der kleinstmöglichen Rohrlänge zu suchen, bei welcher das Sonnenlicht gerade noch genügend abgeschirmt wird.

Weil durch die äussere Montage der Rohre auf eine durchgehende Röhre im Inneren der Kiste verzichtet werden konnte, entstehen zudem zwei Vorteile bei der Bildauswertung. Einerseits können dadurch auch Körperteile aufgenommen werden, welche bisher von der durchgängigen Röhre oft verdeckt wurden (Abbildung 24) und für die Bestimmung wichtig sein können. So lassen sich beispielsweise einigen Mäusegattungen und -arten anhand ihrer Fussfarbe oder ihrer Schwanzlänge, dessen Behaarung oder Farbe unterscheiden (Reifler-Bächtiger & Stephani, 2019). Andererseits kann dadurch der Hintergrund bezüglich seiner Farbe und Kontrasteigenschaften vereinheitlicht werden, wodurch besonders gute Voraussetzungen für eine teilautomatisierte Bilderauswertung entstehen (Laliberte & Ripple, 2003).

5.4 Bildqualität

Hintergrundfarbe

Für den einheitlichen Hintergrund die geeignetste Farbe zu wählen ist nicht ganz einfach. Einerseits wäre für die Bestimmung der Tiere ein optimal ausgeleuchtetes Fell von Vorteil, da manche Mausarten und -gattungen lediglich durch kleine Abweichungen in der Fellfärbung voneinander unterscheidbar sind (Reifler-Bächtiger & Stephani, 2019). Bei den dunklen Hintergründen Schwarz und Braun war die Fellfärbung am besten erkennbar, weshalb sie besonders gut für die Bestimmung von Mäusen geeignet sind. Grundsätzlich sollten daher diese Farben bevorzugt werden. Neben der Hintergrundfarbe scheint auch das verwendete Hintergrundmaterial Einfluss auf die Bildqualität zu haben. So entstanden bei der glatt beschichteten Sperrholzplatte in Prototyp 5 erhebliche Reflektionen, welche bei den Vollkernplatten kaum vorhanden waren (Abbildung 24). Für weitere Anfertigungen könnte mit dunklen Vollkernplatten daher wahrscheinlich bessere Ergebnisse erzielt werden.

Andererseits müsste, um das ganze Potential der Nachweismethode mit Fotofallen auszuschöpfen, die Bestimmung teilautomatisiert werden. Weil sich die Tiere bei Schwarz und Braun am schlechtesten von Hintergrund unterscheiden liessen, könnten diese Hintergrundfarben die Erkennung der

Tiere mittels Software erschweren. Ob dies wirklich ein Problem ist, wird sich jedoch erst bei Versuchen zur teilautomatisierten Bilderkennung zeigen. Falls nötig, könnte auf Farben ausgewichen werden, welche etwas mehr Kontrast zu den Tieren aufweisen, wie dies beispielsweise bei Grau und Grün der Fall ist. Auch hier würde es sich natürlich empfehlen, das reflektionsärmere Vollkernmaterial zu verwenden.

Streuung Blitz

Mit Backtrennpapier konnte die Streuung des Blitzes und somit die Ausleuchtung der Prototypen deutlich verbessert werden. Je mehr Lagen Backtrennpapier vor den Blitz gelegt wurden, desto besser war die Ausleuchtung. Jedoch nahm mit zunehmender Anzahl Backtrennpapierlagen auch die Vergilbung zu, wodurch sich die Farbwerte der Aufnahmen geändert haben. Da auch kleine Abweichungen der Fellfarbe für eine zuverlässige Bestimmung erkennbar sein müssen (Reifler-Bächtiger & Stephani, 2019), ist eine Vergilbung hierfür nicht tolerierbar. Die Vergilbung kann zwar möglichst klein gehalten werden, indem nur eine geringe Anzahl an Backtrennpapierlagen verwendet wird. Jedoch ist dabei die Ausleuchtung der Kiste kaum zufriedenstellend. Um gut ausgeleuchtete und gleichzeitig farbtreue Aufnahmen zu erhalten, könnte in weiteren Untersuchungen zwei Lösungsansätze ausprobiert werden. Einerseits könnte mit Hilfe eines Farbabgleiches versucht werden, die Vergilbung in der digitalen Nachbearbeitung herauszurechnen. Damit ein Farbabgleich gemacht werden kann, müsste im Inneren der Kiste ein Farbstandard platziert werden (Stevens et al., 2007). Die digitale Farbbearbeitung setzt zudem einen kalibrierteren Monitor voraus. Andererseits könnte durch Verwendung eines besseren Diffusormaterials versucht werden, die Vergilbung weitgehend zu verhindern. So wäre Diffusorfolie wahrscheinlich weit besser zur Streuung von Blitzlicht geeignet als das Backtrennpapier. Mit Diffusorfolie kann relativ einfach und kostengünstig ein brauchbarer Diffusor selbst hergestellt werden (Harnischmacher, 2014). Um wirklich farbechte Aufnahmen zu erhalten, müssten wahrscheinlich auch Aufnahmen mit diesem Diffusor zusätzlich mit einem Farbabgleich korrigiert werden.

Bildqualität insgesamt

Die Bildqualität sollte zur zuverlässigen Bestimmung der Tiere verbessert werden. Ob sich die Bildqualität gegenüber den Aufnahmen von Jud (2018) verbessert hat, lässt sich erkennen, wenn die Mäusearten in Abbildung 24 mit Hilfe des Bestimmungsschlüssels in Anhang A (Reifler-Bächtiger & Stephani, 2019) bestimmt werden sollen:

Die Wühlmaus (Familie *Cricetidae*) kann im neuen System kann aufgrund der grossen Schwanzlänge und der rötlichen Fellfarbe ziemlich sicher als Rötelmaus (*Myodes glareolus*) bestimmt werden, auch wenn die Ohren nicht deutlich aus dem Fell ragen. Jene von Jud

(2018) lässt sich nicht eindeutig bestimmen, da auf dieser Aufnahme der Schwanz nicht ganz zu sehen ist. Natürlich kann dieses Problem auch im neuen System auftreten. Durch Verzicht auf die durchgehende Röhre sollte der Schwanz jedoch seltener verdeckt sein. Dadurch entsteht ein erster Vorteil für das neue System.

Die Spitzmaus (Familie *Soricidae*) kann im neuen System aufgrund der gut sichtbaren Ohren und der Körperlänge der Gattung *Crocidura* zugeordnet werden. Der Referenzmaßstab erweist sich bei dieser Zuordnung als sehr hilfreich. Die Spitzmaus von Jud (2018) kann aufgrund der schlechten Bildqualität nicht eindeutig zugeordnet werden. Es könnte sich dabei um eine Spitzmaus der Gattung *Sorex* handeln.

Die Langschwanzmaus (Familie *Muridae*) im neuen System kann aufgrund der Fellfärbung der Gattung *Apodemus* zugeordnet werden. Da die Aufnahmen von Jud (2018) monochrom sind, kann hier die Langschwanzmaus keiner Gattung zugeordnet werden. (mündlich, Annette Stephani, 2019)

Die Tiere in Abbildung 24 lassen aufgrund der schärferen, farbigen Aufnahmen im neuen System besser bestimmen. Die Bildqualität hat zugenommen. Die Bestimmung wird jedoch nicht nur aufgrund der höheren Bildqualität vereinfacht. Auch der Verzicht auf ein durchgängiges Rohr und der Referenzmassstab helfen dabei. Indem die Hintergrundwahl und die Blitzstreuung wie zuvor beschrieben optimiert werden, kann die Bildqualität noch weiter verbessert werden. Das Ziel der Bildqualitätsoptimierung war die zuverlässige Bestimmung von Kleinsäugetieren. Welche Arten mit dem neuen System bestimmt werden können, kann pauschal nicht gesagt werden, da im Einzelfall auch die Haltung des Tieres zum Zeitpunkt der Auslösung entscheidend ist. Zudem müssten für eine abschliessende Beurteilung noch mehr Aufnahmen von Kleinsäugetierexperten beurteilt werden. Wichtig zu erwähnen ist jedoch, dass auch bei Lebendfang, viele Kleinsäugetierarten rein äusserlich nicht auf Art-Niveau bestimmt werden können. So müssen für die Bestimmung zahlreicher Kleinsäugetier Haarproben für eine Artbestimmung mittels DNA-Analyse genommen werden (Reifler-Bächtiger & Stephani, 2019). Haarproben können auch nicht-invasiv relativ einfach mit Hilfe von Klebebandstreifen genommen werden (Henry & Russello, 2011). Deshalb würde eine integrierte Haarfalle, die zuverlässige Bestimmung von Kleinsäugetieren auf Art-Niveau weiter verbessern.

6 Schlussfolgerung

Basierend auf den gemachten Erfahrungen, möchte ich zum Schluss eine Empfehlung für ein System abgeben, welches die gesetzten Ziele zur Verbesserung der Handhabung und Bildqualität bestmöglich erfüllt. Ich nenne das System «MammaliaBox».

Für den Einsatz in der MammaliaBox sollten Weissblitzfotofallen verwendet werden, da durch Farbaufnahmen eine zuverlässigere Bestimmung von Kleinsäugetieren ermöglicht wird. Beim Neukauf von Fotofallen wird idealerweise ein Modell gewählt, welches bereits über einen grossen Bildwinkel (ca. 100°) und die Möglichkeit einer Live-Bildübertragung verfügt. Dies erspart die Suche nach einem passenden Objektiv und erleichtert die Fokuseinstellung. Alternativ kann der Bildwinkel einer Fotofalle durch Austausch des Objektivs soweit erhöht werden, dass das vorhandene Sichtfeld bestmöglich ausgenutzt wird. Der Fokus kann, bei Fotofallen mit Gewindeobjektivhalterung, am einfachsten durch Drehen des Objektivs eingestellt werden. Die Fokusebene wird dabei optimalerweise mittig auf den Durchgangskorridor verschoben, da sich dort wahrscheinlich die meisten Tiere aufhalten werden. Anhand des verfügbaren Bildwinkels kann die Objektdistanz so angepasst werden, dass die Bildbreite ungefähr jener in der Mostela (Jud, 2018) entspricht. Aus den Dimensionen des Fotofallengehäuses und der Objektdistanz ergibt sich die erforderliche Innenlänge der Kiste.

Die MammaliaBox wird am besten in der steckbaren Bauweise hergestellt, da die so angefertigten Prototypen gesamthaft über die besten Eigenschaften bezüglich Handhabung, Beständigkeit und Herstellung verfügten. Die Länge der Einzelkomponenten kann in den Ausführungsplänen auf die erforderliche Innenlänge angepasst werden. Die austauschbaren Einzelkomponenten der MammaliaBox lassen sich mit einer CNC-Fräse auch in grösserer Stückzahl herstellen. Ob die MammaliaBox mit oder ohne Hacken an den Zapfenverbindungen ausgefräst werden soll und ob dafür Sperrholz- oder Vollkernplatten verwendet werden, kann vorher in einer Untersuchung zur Praxistauglichkeit und Wetterbeständigkeit der Prototypen 5, 6 und 7 herausgefunden werden. Jedenfalls empfiehlt es sich, ein möglichst reflektionsarmes, dunkles Material zu verwenden, da hiermit die beste Bildqualität zu erwarten ist. Zur besseren Ausleuchtung der Kiste sollte ein Blitzdiffusor aus Diffusorfolie gefertigt werden. Dieser sollte in Kombination mit einem Farbstandard zu farbechten Aufnahmen verhelfen, welche für die Bestimmung einiger Kleinsäugetiere vorteilhaft wären. Der Referenzmassstab und die äussere Montage der PP-Rohre sollten beibehalten werden, da sie die Bestimmung der Kleinsäugetiere auf mehrere Arten erleichtern. Durch zusätzliche Montage einer Haarfalle im Inneren der Rohre könnten künftig auch Kleinsäugetiere bestimmt werden, welche nur genetisch unterscheidbar sind.

Das so optimierte System bietet bezüglich Handhabung und Bildqualität zahlreiche Vorteile gegenüber der Mostela. Bevor die MammaliaBox bedenkenlos eingesetzt werden kann, sollte das Interesse der Kleinsäugetiere am neuen System überprüft werden. Hierfür würde sich ein Vergleich mit Spurentunnel anbieten. Dabei sollte der mögliche Einfluss von Weissblitz und Köderverwendung auf das Verhalten der Tiere nicht vergessen werden.

Wenn das Interesse der Kleinsäuger an der MammaliaBox bestätigt ist und die erfasste Datenqualität für eine zuverlässige Bestimmung der Tiere genügt, sind die beiden Hauptkriterien für ein erfolgreiches Kleinsäugermonitoring erfüllt. Damit alle erhofften Vorteile, der weiterentwickelten Methode gegenüber den Spurentunneln, sinnvoll genutzt werden können, müsste in Zukunft auch die Effizienz der Bildauswertung optimiert werden. Ein insgesamt optimiertes System könnte einen wesentlichen Beitrag zur besseren Kenntnis der Kleinsäuger leisten, was letztendlich auch der gezielten Förderung gefährdeter Arten zugutekommen würde.

7 Literaturverzeichnis

- Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel (Jagdgesetz, JSG). (20. Juni 1986). 922.0 (Stand am 01. Mai 2017).
- BUWAL. (1994). *Rote Listen der gefährdeten Tierarten der Schweiz*. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern.
- Capt, S., & Marchesi, P. (2012). *Monitoring der Kleinmusteliden in der Schweiz - Resultate der Erhebungen von 2010*. Centre Suisse de Cartographie de la Faune CSCF.
- Croose, E., & Carter, S. P. (2019). A pilot study of a novel method to monitor weasels (*Mustela nivalis*) and stoats (*M. erminea*) in Britain. *Mammal Communications*, (5), S. 6–12.
- Fitch, H. S. (1954). Seasonal acceptance of bait by small mammals. *Journal of Mammalogy*, 35(1), S. 39–47.
- Glen, A. S., Cockburn, S., Nichols, M., Ekanayake, J., & Warburton, B. (2013). Optimising camera traps for monitoring small mammals. *PLOS ONE*, 8(6): e67940.
- Harnischmacher, C. (2014). *Low Budget Shooting: Fotozubehör einfach selbst gebaut*. Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Henry, P., & Russello, M. A. (2011). Obtaining high-quality DNA from elusive small mammals using low-tech hair snares. *European Journal of Wildlife Research*, 57(3), S. 429–435.
- Hering, E., & Martin, R. (2017). *Optik für Ingenieure und Naturwissenschaftler: Grundlagen und Anwendungen*. München: Carl Hanser Verlag.
- Jaklitsch, W. (2004). *Handbuch der Laufbildfotografie*. Wien: Springer.
- Jud, L. (2018). *Potenzial von Fotofallen-Boxen für das Kleinsäuger-Monitoring* (Bachelorarbeit). Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil.
- Kingslake, R. (1992). *Optics in photography*. Bellingham: SPIE Press.

- Laliberte, A. S., & Ripple, W. J. (2003). Automated wildlife counts from remotely sensed imagery. *Wildlife Society Bulletin*, 31(2), S. 362–371.
- McCleery, R. A., Zweig, C. L., Desa, M. A., Hunt, R., Kitchens, W. M., & Percival, H. F. (2014). A novel method for camera-trapping small mammals: A Novel Camera Trap Method. *Wildlife Society Bulletin*, 38(4), S. 887–891.
- Meek, P. D., Ballard, G.-A., Fleming, P. J., Schaefer, M., Williams, W., & Falzon, G. (2014). Camera traps can be heard and seen by animals. *PLOS ONE*, 9(10): e110832.
- Meek, P. D., & Vernes, K. (2016). Can camera trapping be used to accurately survey and monitor the Hastings River mouse (*Pseudomys oralis*)? *Australian Mammalogy*, 38(1), S. 44-51.
- Mills, C. A., Godley, B. J., & Hodgson, D. J. (2016). Take Only Photographs, Leave Only Footprints: Novel Applications of Non-Invasive Survey Methods for Rapid Detection of Small, Arboreal Animals. *PLOS ONE*, 11(1): e0146142.
- Pauli, Y. (2018). *Ein Vergleich indirekter Methoden für den Nachweis von bodengebundenen Kleinsäugetern* (Bachelorarbeit). Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil.
- Ratnaweera, N. (2017). *Mit Hightech-Fotofalle Wieseln auf der Spur*. Abgerufen am 05. September 2019 von www.zhaw.ch/de/ueber-uns/aktuell/news/detailansicht-news/news-single/mit-hightech-fotofalle-wieseln-auf-der-spur/
- Reconyx. (2013). *Hyperfire High Performance Cameras Instruction Manual*. Creekside LN.
- Reconyx. (2018). *Hyperfire 2 Outdoor Series Camera User Manual*. Creekside LN.
- Reifler-Bächtiger, M., & Stephani, A. (2019). *Bestimmungsschlüssel für Kleinsäuger*. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil.
- Rieche, G. (2014). *Akustische Untersuchungen an Wildtierkameras*. Semesterarbeit 2. Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften ZHAW, Wädenswil.

- Robin, K., Graf, R. F., & Schnidrig, R. (2017). *Wildtiermanagement: eine Einführung*. Bern: Haupt Verlag.
- Simon, S. (2017). Choosing the Right Lens - When Round Must Become Square: Five factors to consider when choosing the right lens for a camera or imaging system. *Optik & Photonik*, 12(5), S. 45–49.
- Small Mustelid Foundation. (2019). *A building plan for the Mustela*. Abgerufen am 10. Juli 2019 von www.stichtingkleinermarters.nl/small-mustelid-foundation/
- Soininen, E. M., Jensvoll, I., Killengreen, S. T., & Ims, R. A. (2015). Under the snow: a new camera trap opens the white box of subnivean ecology. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 1(1), S. 29–38.
- Stevens, M., Párraga, C. A., Cuthill, I. C., Partridge, J. C., & Troscianko, T. S. (2007). Using digital photography to study animal coloration. *Biological Journal of the Linnean society*, 90(2), S. 211–237.
- Tester, R., & Müller, J. P. (1996). Verbreitung und Habitatdifferenzierung der Schläfer (Gli-ridae) im Unterengadin (Schweiz). *Jahresbericht der Naturforschenden Gesellschaft Graubünden*, 109. S. 93-112.
- Vaterlaus-Schlegel, C. (2001). Die Verbreitung der Schläfer (Myoxidae) in der Schweiz. eine Datenerhebung mit Hilfe einer Umfrage. *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel*, 5. S. 137-160.
- Wearn, O. R., & Glover-Kapfer, P. (2017). Camera-trapping for Conservation: a Guide to Best-practices. *WWF Conservation Technology Series*, 1(1), S. 1-181.
- ZHAW. (2017). Projekt TubeCam. Abgerufen am 3. Oktober 2019 von www.zhaw.ch/de/lfsm/institute-zentren/iunr/ecosystems-and-biodiversity/wildtiermanagement/referenzprojekte/tubecam/

Abbildungsverzeichnis

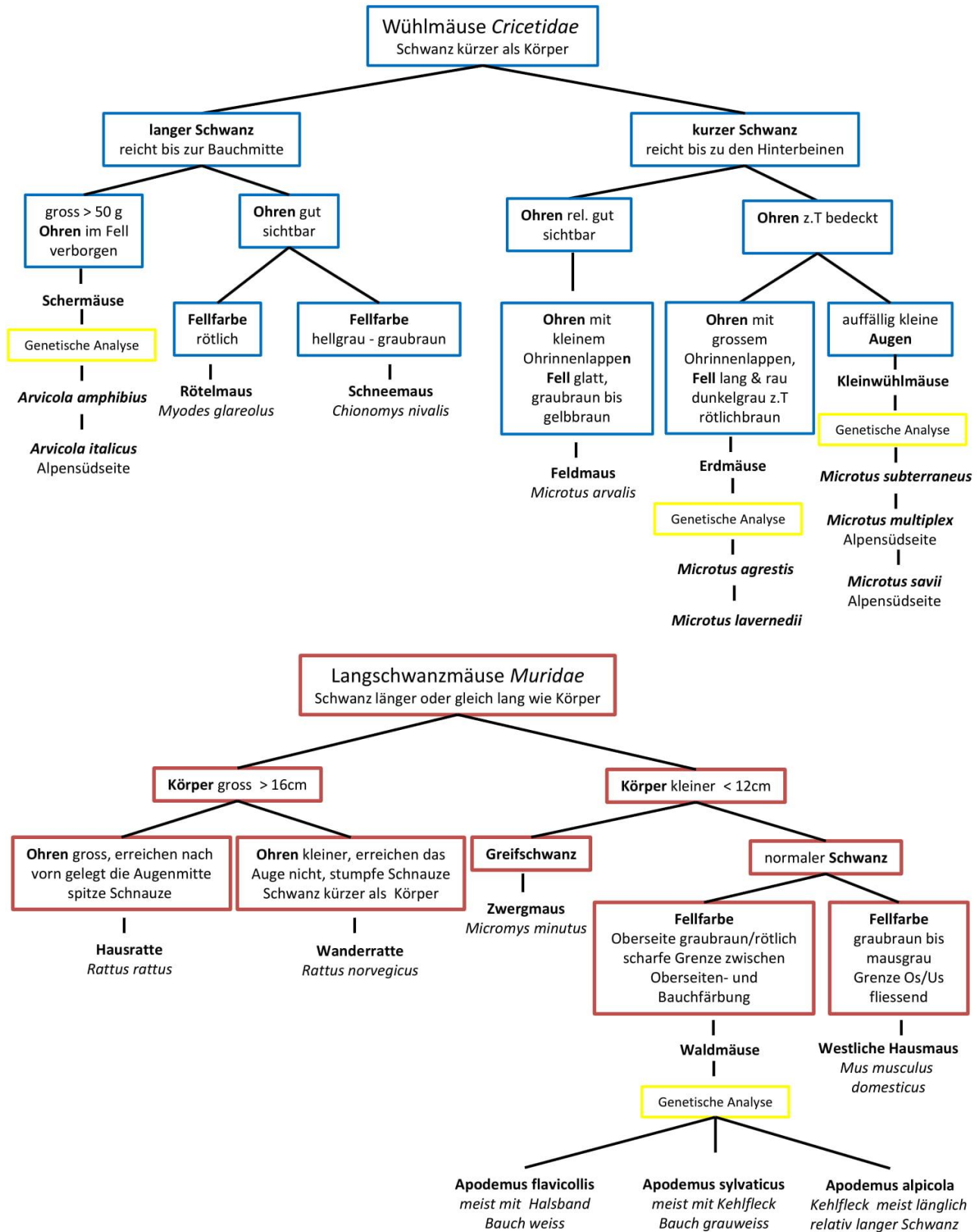
Abbildung 1: Mostela	10
Abbildung 2: Aufzeichnung eines Hermelins in einer Mostela	10
Abbildung 3: Weitsichtiges Auge (Hyperopie)	12
Abbildung 4: Schematische Darstellungen verschiedener Bildwinkel in der Mostela	13
Abbildung 5: Montage der Nahlinsen	18
Abbildung 6: Montage des Weitwinkeladapters	19
Abbildung 7: S-mount Objektivanschlüsse	20
Abbildung 8: Objektivhalterung der HC550, schwenkbarer Infrarotschalter der HP2W	21
Abbildung 9: HC550 in Originalzustand, HC550 nach Umbau	21
Abbildung 10: Blick von oben auf Prototyp 5	24
Abbildung 11: HC550 ohne Backtrennpapier, HC550 mit Backtrennpapier	25
Abbildung 12: Aufnahmen der Reconyx HP2W mit Planokonvex-Nahlinsen	26
Abbildung 13: Aufnahmen unterschiedlicher Objektdistanzen (OD) und Nahlinsenkombinationen	27
Abbildung 14: Aufnahmen mit Weitwinkeladapter	28
Abbildung 15: Adaptive Weitwinkelkorrektur	28
Abbildung 16: Aufnahme mit Objektiv 1	29
Abbildung 17: Aufnahmen mit Objektiv 2 und Objektiv 3	29
Abbildung 18: Aufnahmen mit Objektiv 6 und Objektiv 7	30
Abbildung 19: Bauweise «geschraubt»	33
Abbildung 20: Bauweise «faltbar»	34
Abbildung 21: Bauweise «steckbar»	35
Abbildung 22: Vergleich von Kontrast und Belichtung bei verschiedenen Hintergrundfarben	40
Abbildung 23: Aufnahmen mit unterschiedlicher Anzahl Backtrennpapierlagen	41

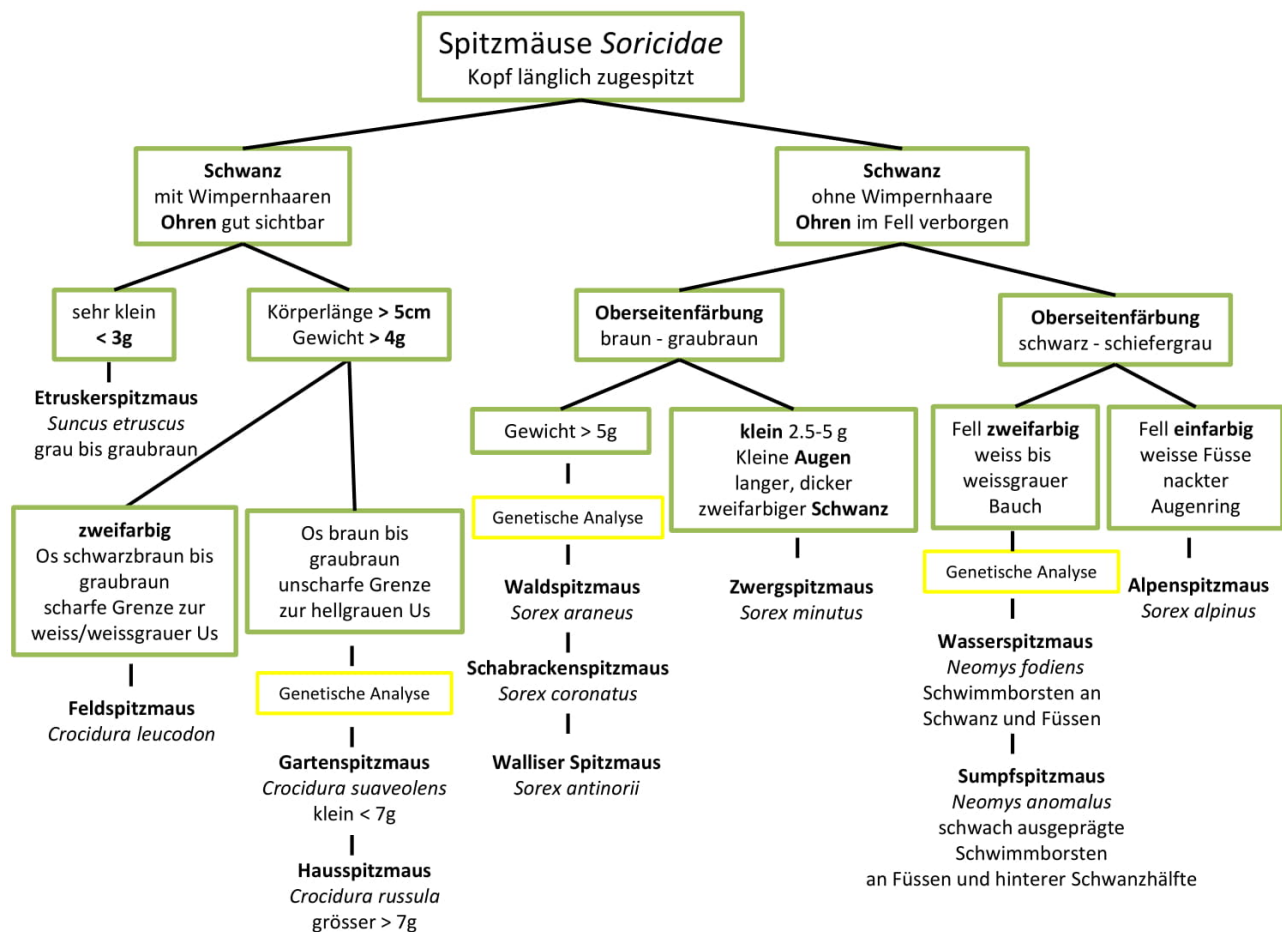
Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiele für geschlossene Versuchseinrichtungen	8
Tabelle 2: Kenndaten der verwendeten Fotofallen Reconyx HC550 und Reconyx HP2W	17
Tabelle 3: Getestete Objektdistanzen und verwendete Nahlinen.....	18
Tabelle 4: Kenndaten der getesteten Objektive.....	22
Tabelle 5: Bewertung der Mostela von Jud (2018) und Prototypen	38

Anhang A – Bestimmungsschlüssel Kleinsäugetiere

Quelle: (Reifler-Bächtiger & Stephani, 2019)



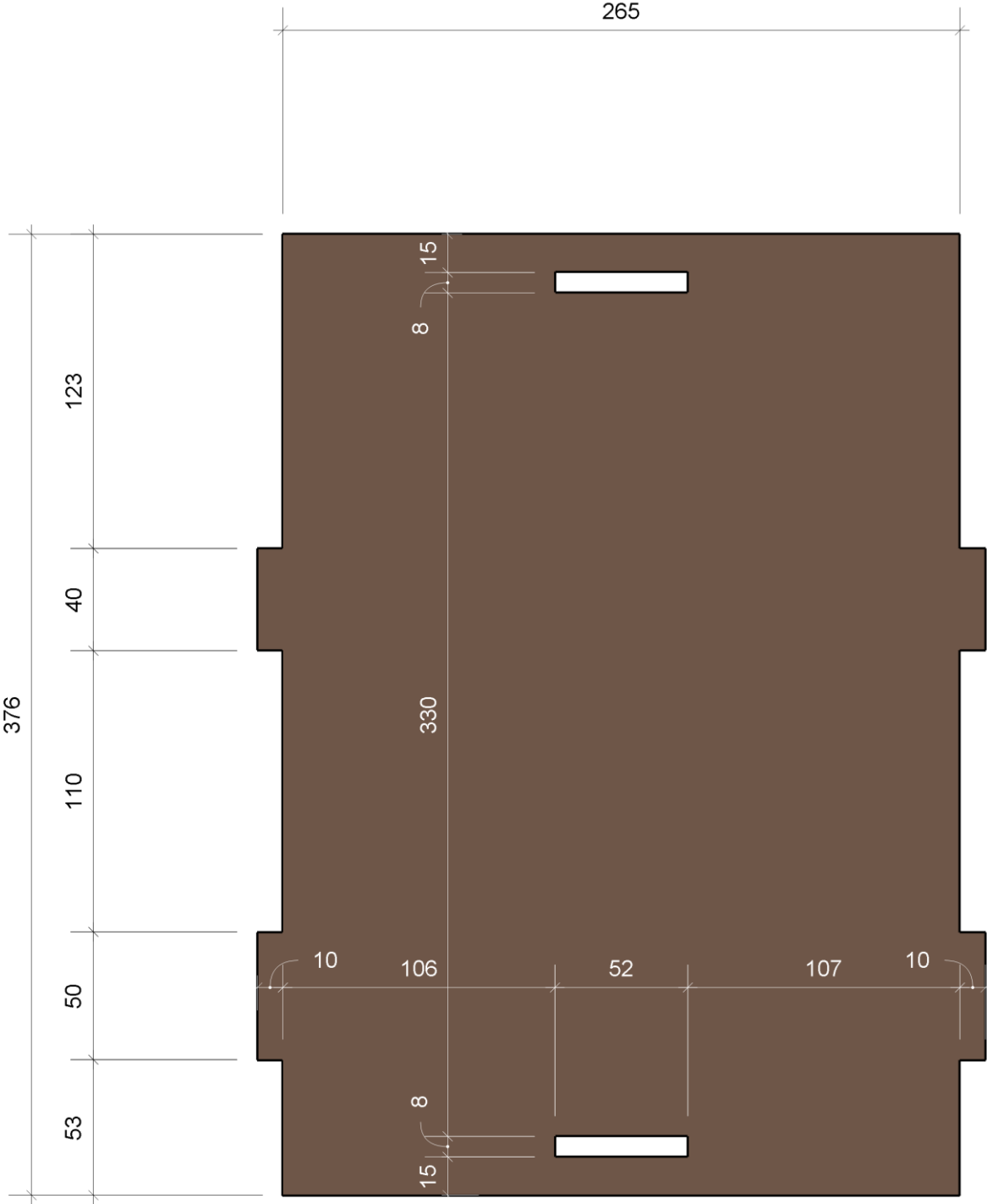


Genetische Analyse für morphologisch nicht unterscheidbare Arten

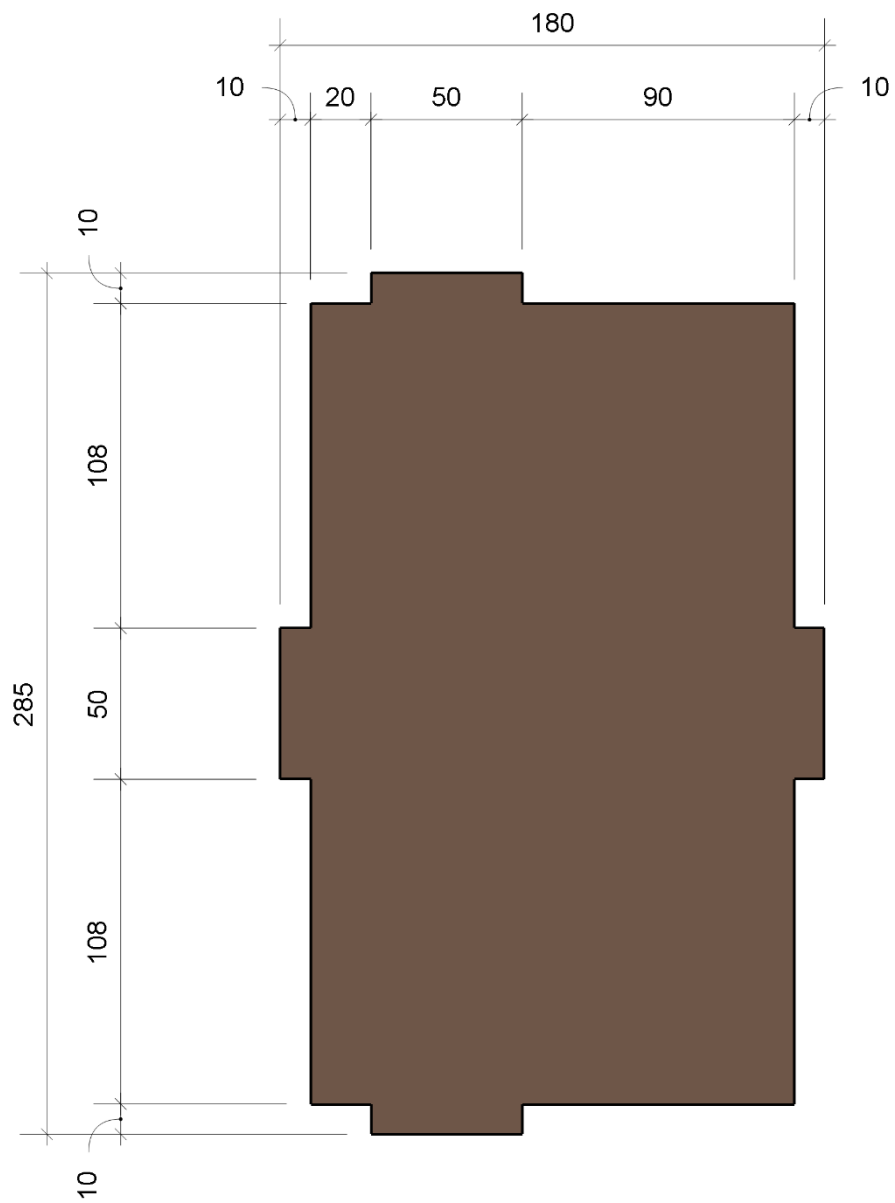
Zusätzliche genetische Analysen sind zum empfehlen, wenn...

- es sich um eine seltene Art handelt oder erstmals im Gebiet nachgewiesen wurde
- es sich um ein Jungtier handelt
- Bestimmungsmerkmale nicht eindeutig sind

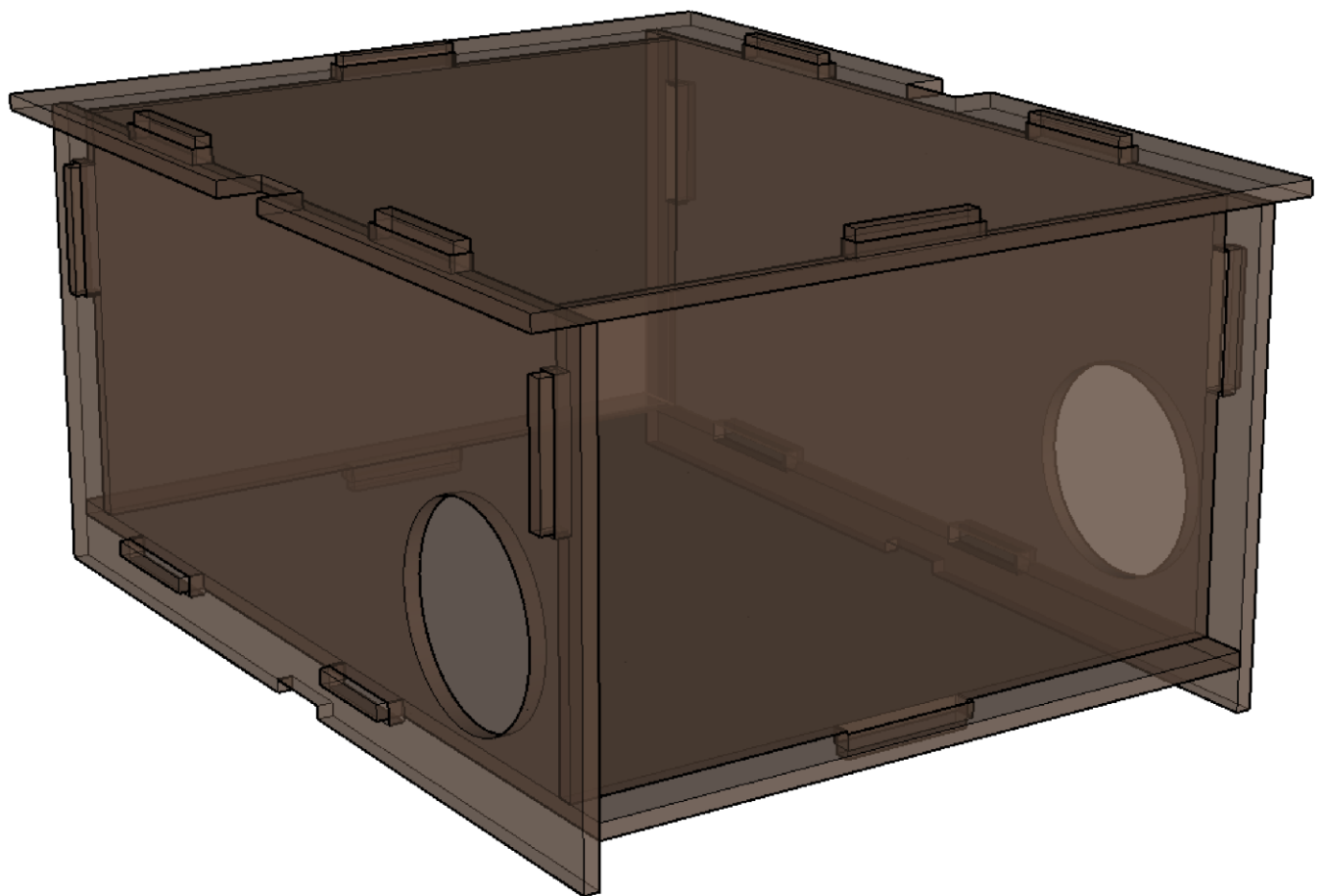
Anhang B – Ausführungspläne



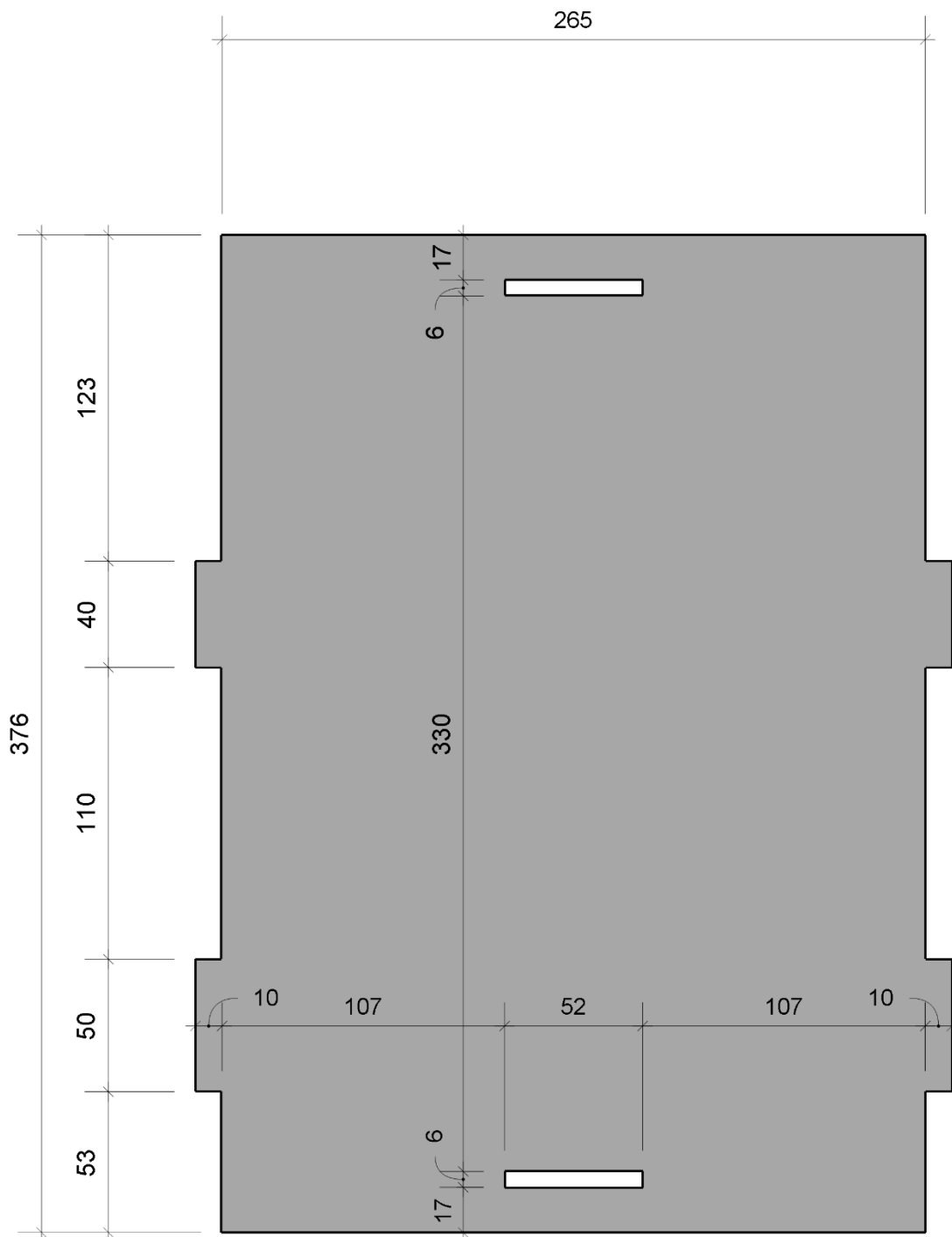
Prototyp 5, Boden	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



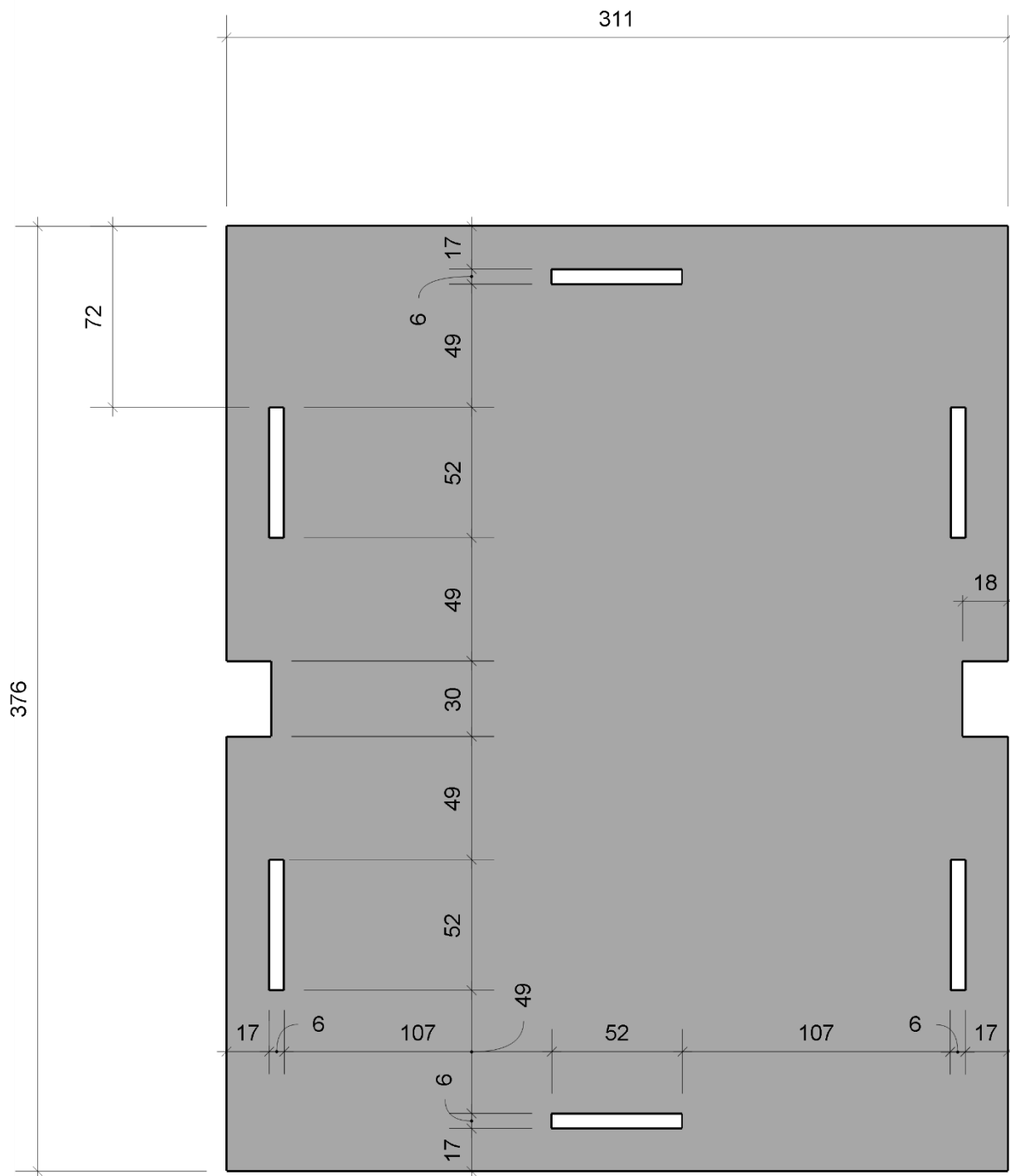
Prototyp 5, Rückwand	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



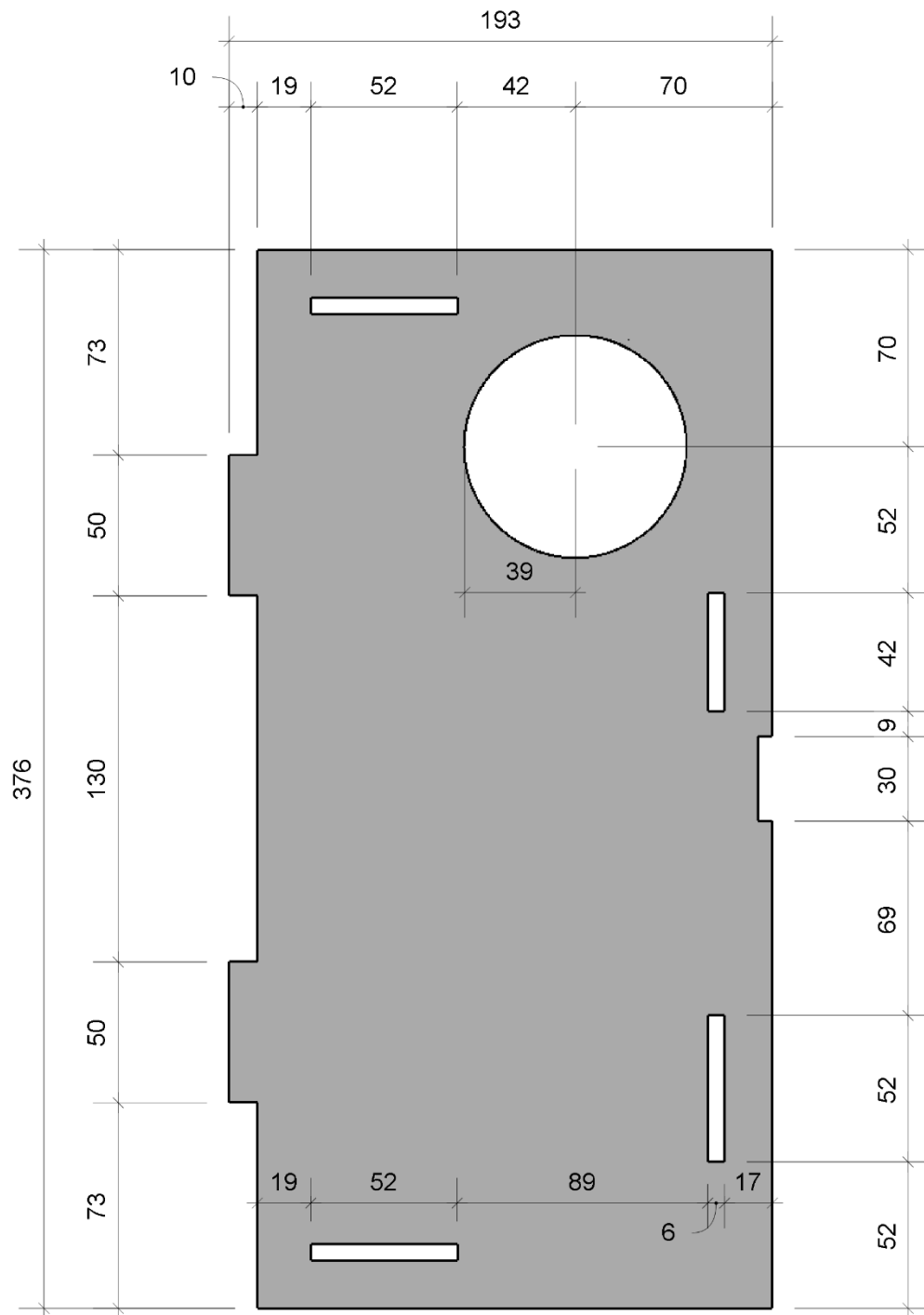
Prototyp 5, 3D-Ansicht	
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



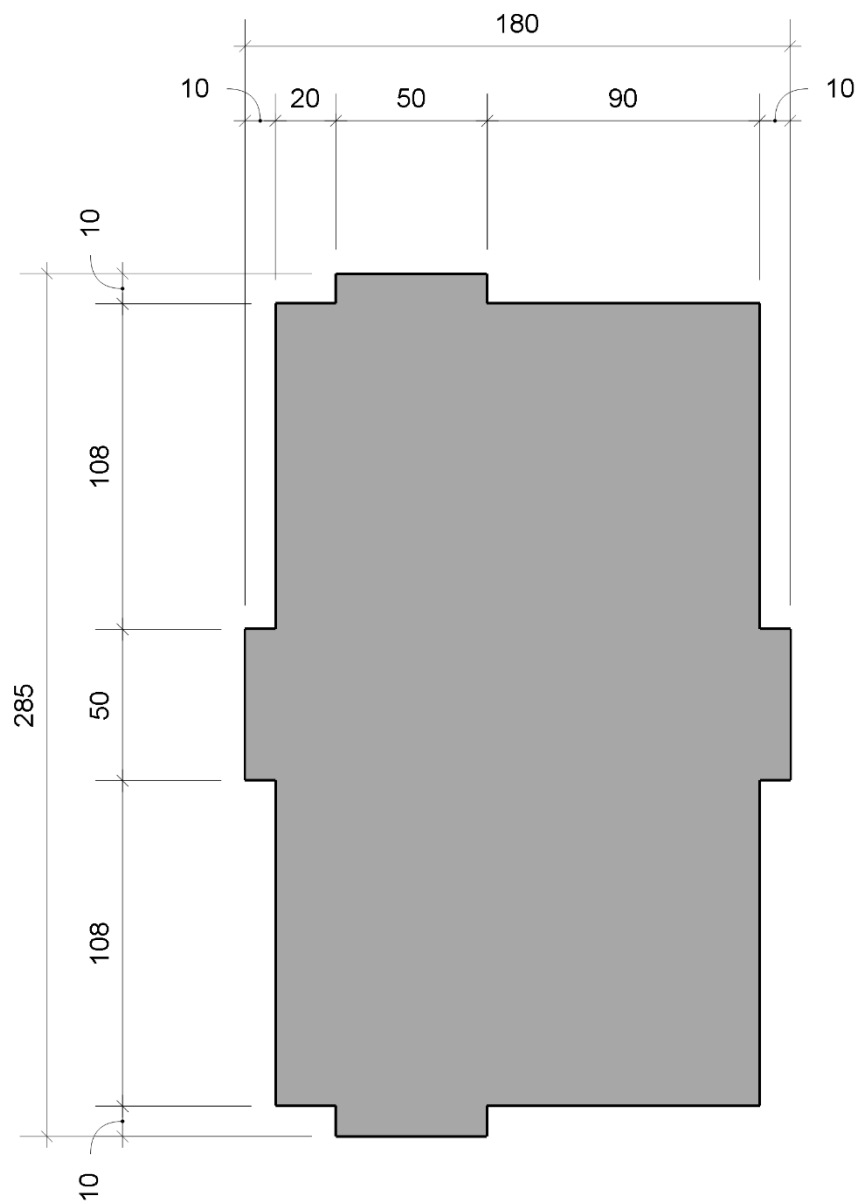
Prototyp 6, Boden	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



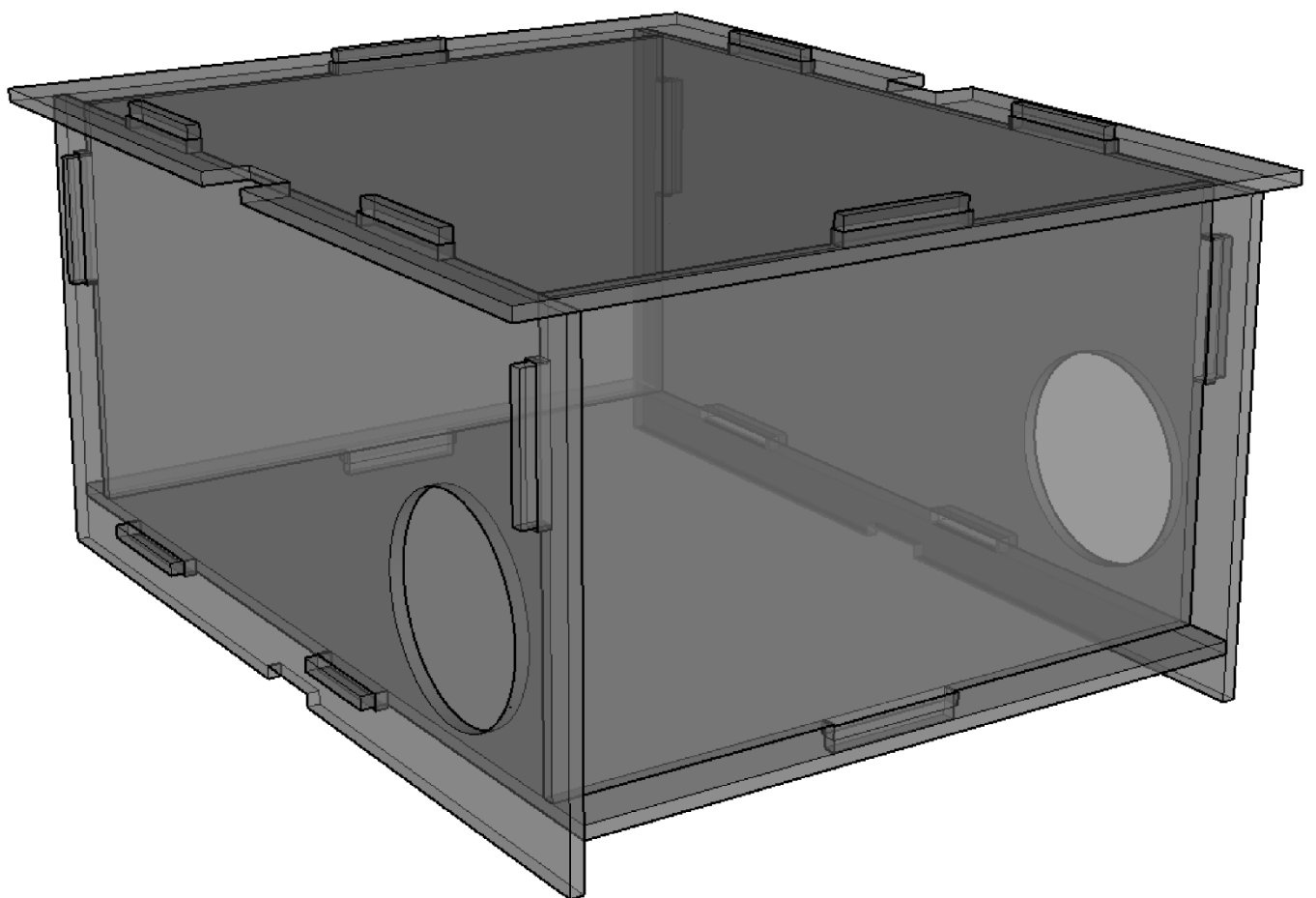
Prototyp 6, Deckel	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



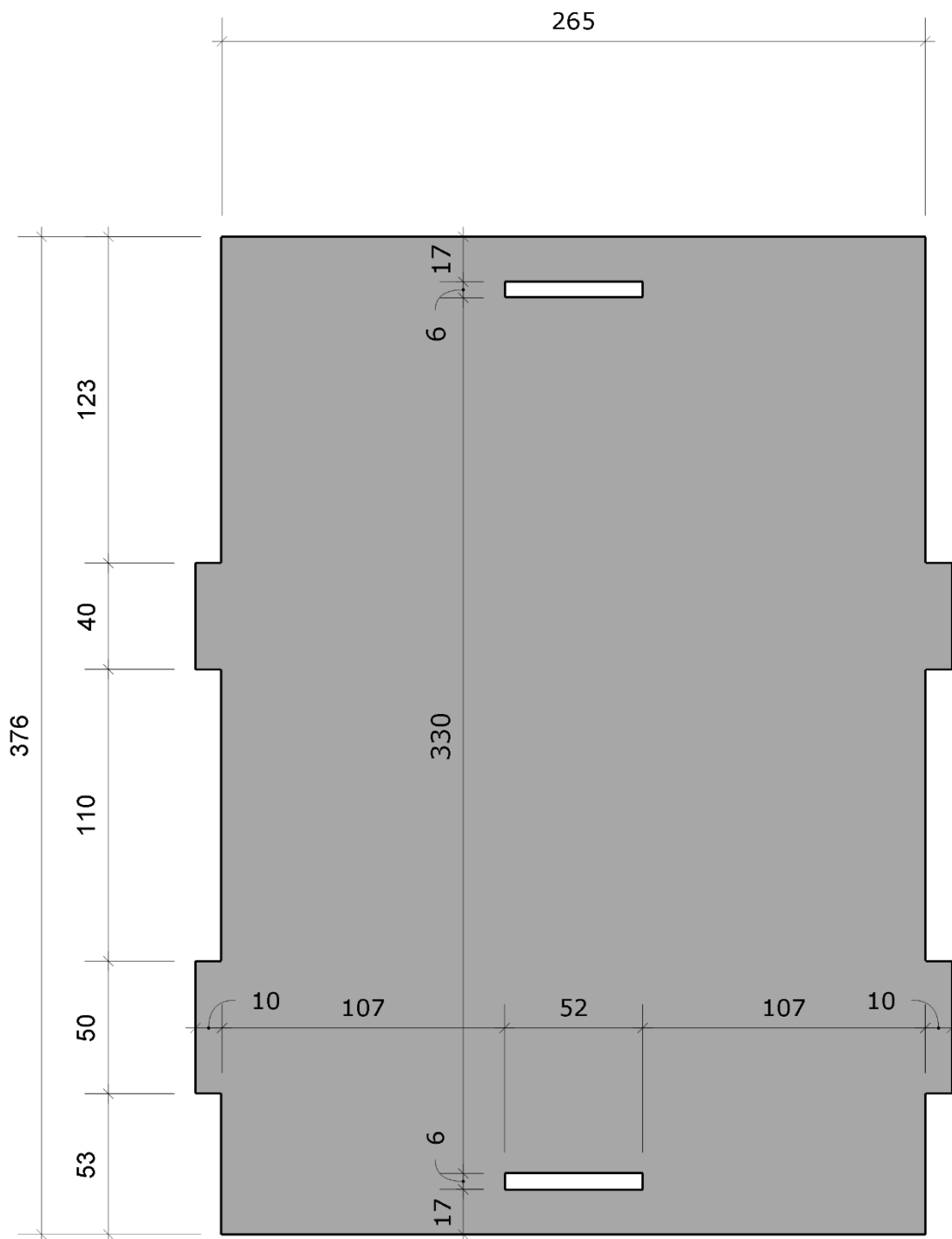
Prototyp 6, Seitenwand	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



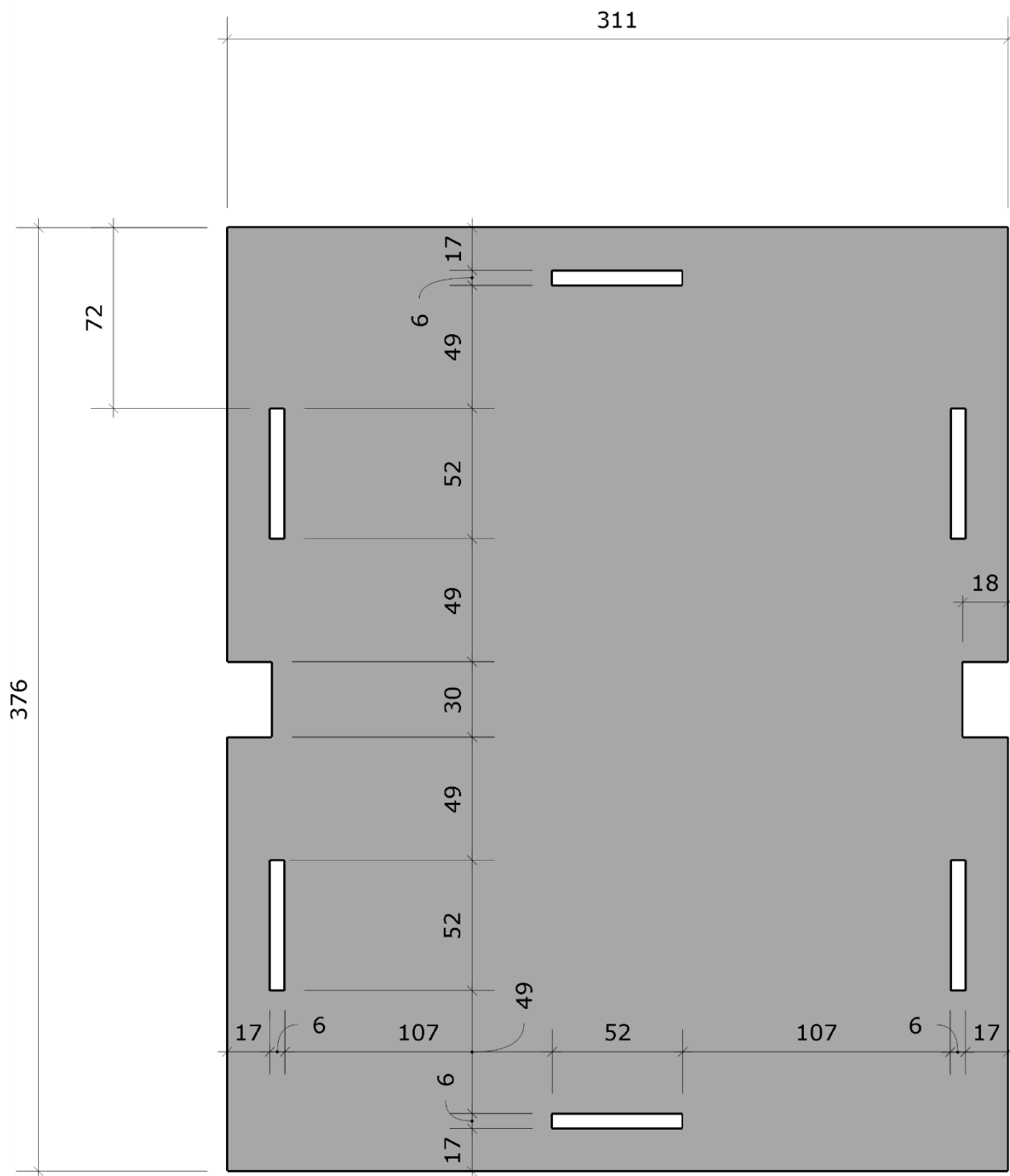
Prototyp 6, Rückwand	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



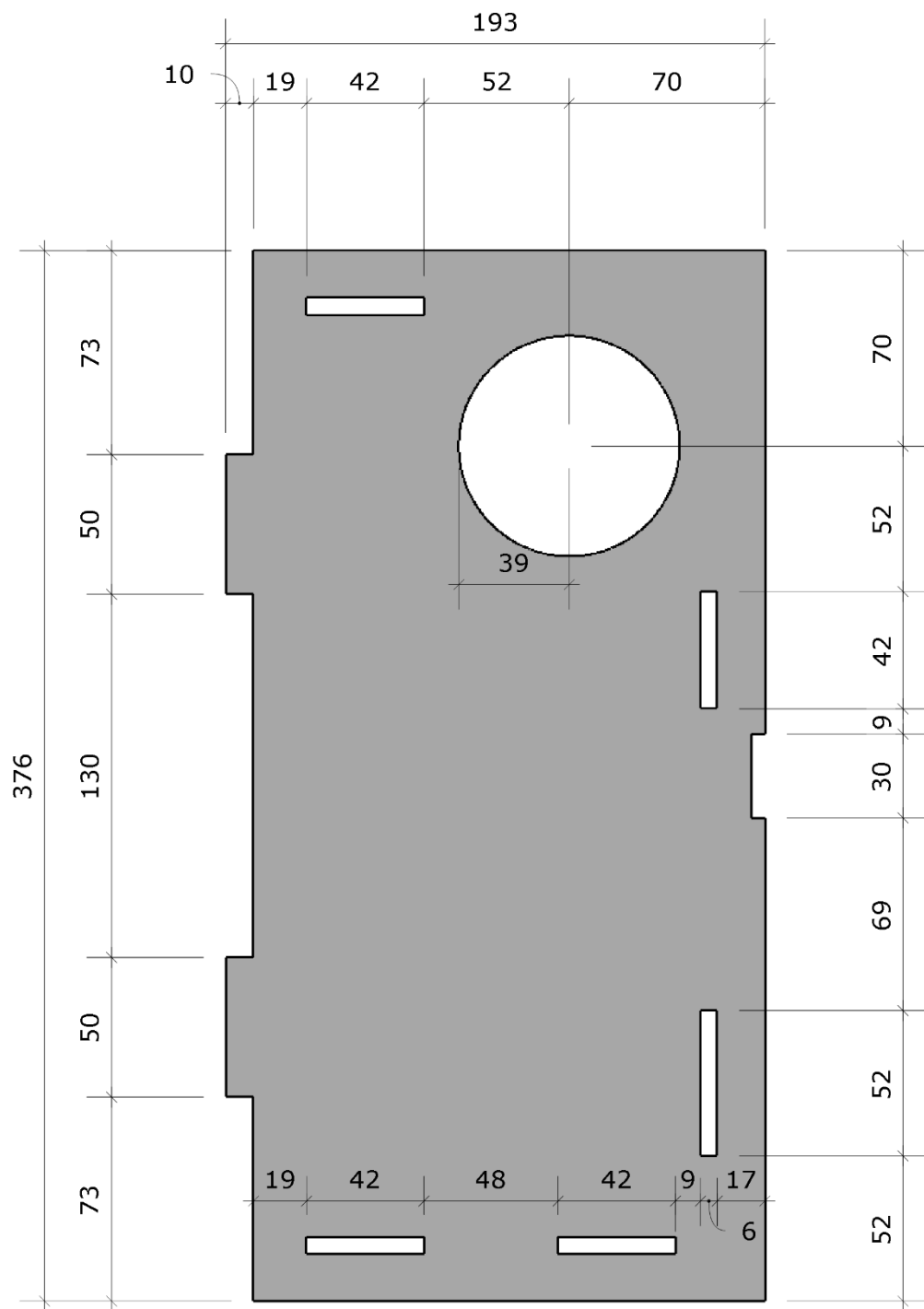
Prototyp 6, 3D-Ansicht	
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



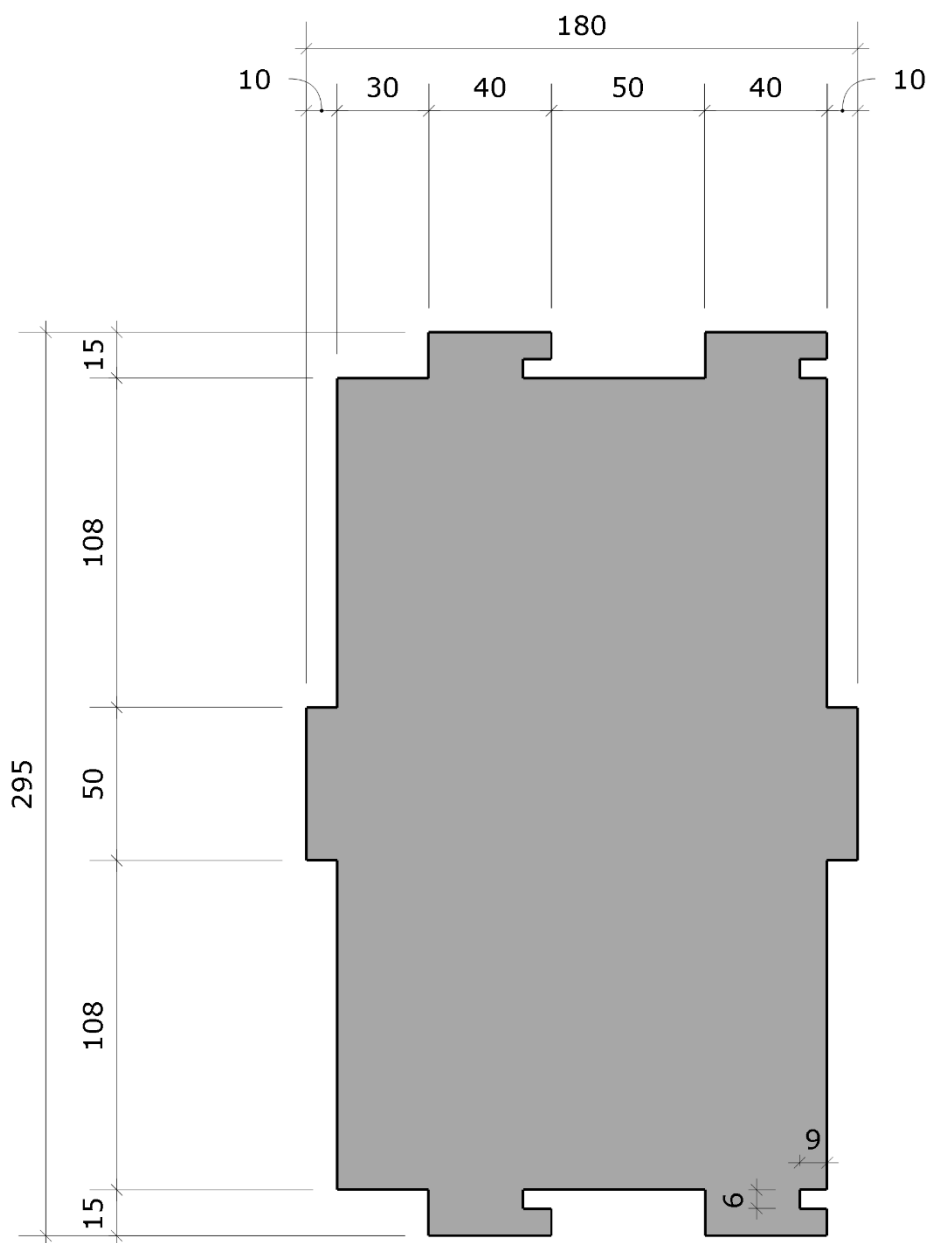
Prototyp 7, Boden	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



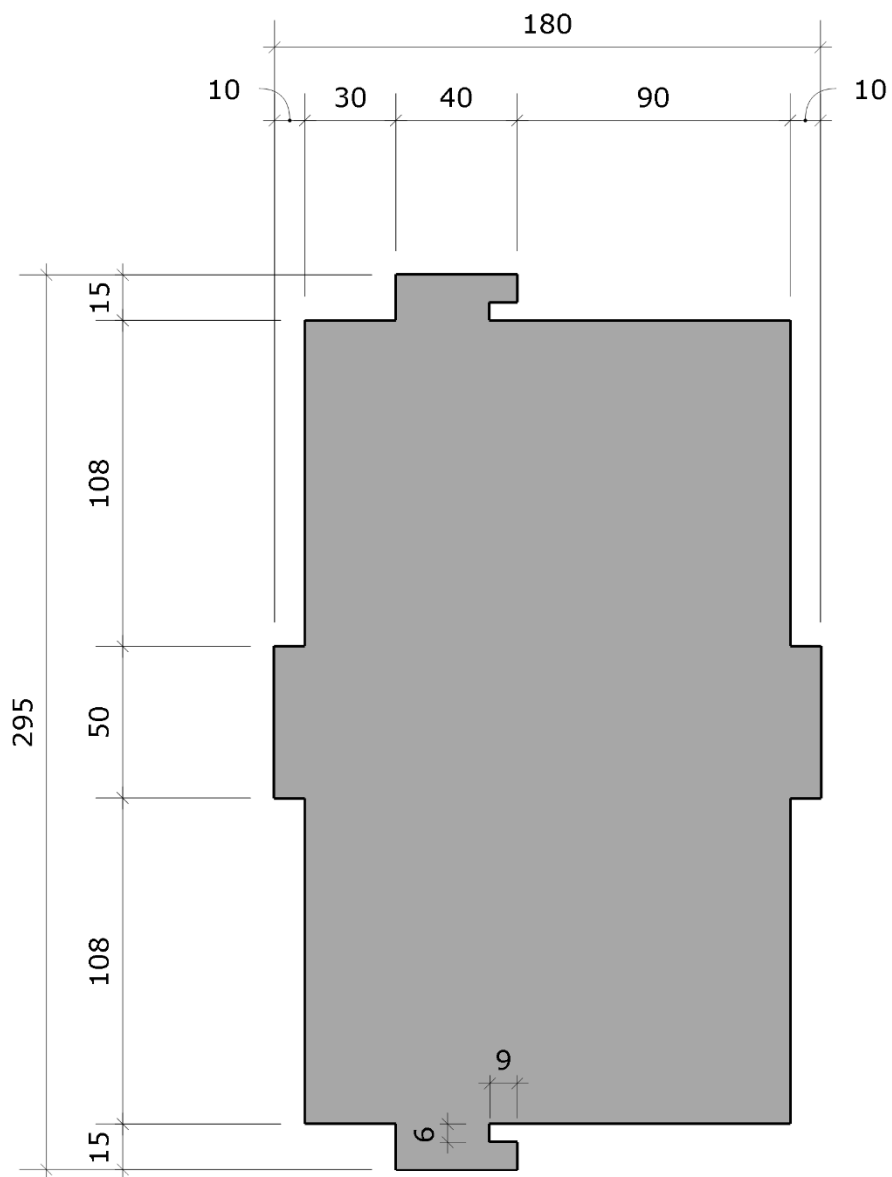
Prototyp 7, Deckel	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



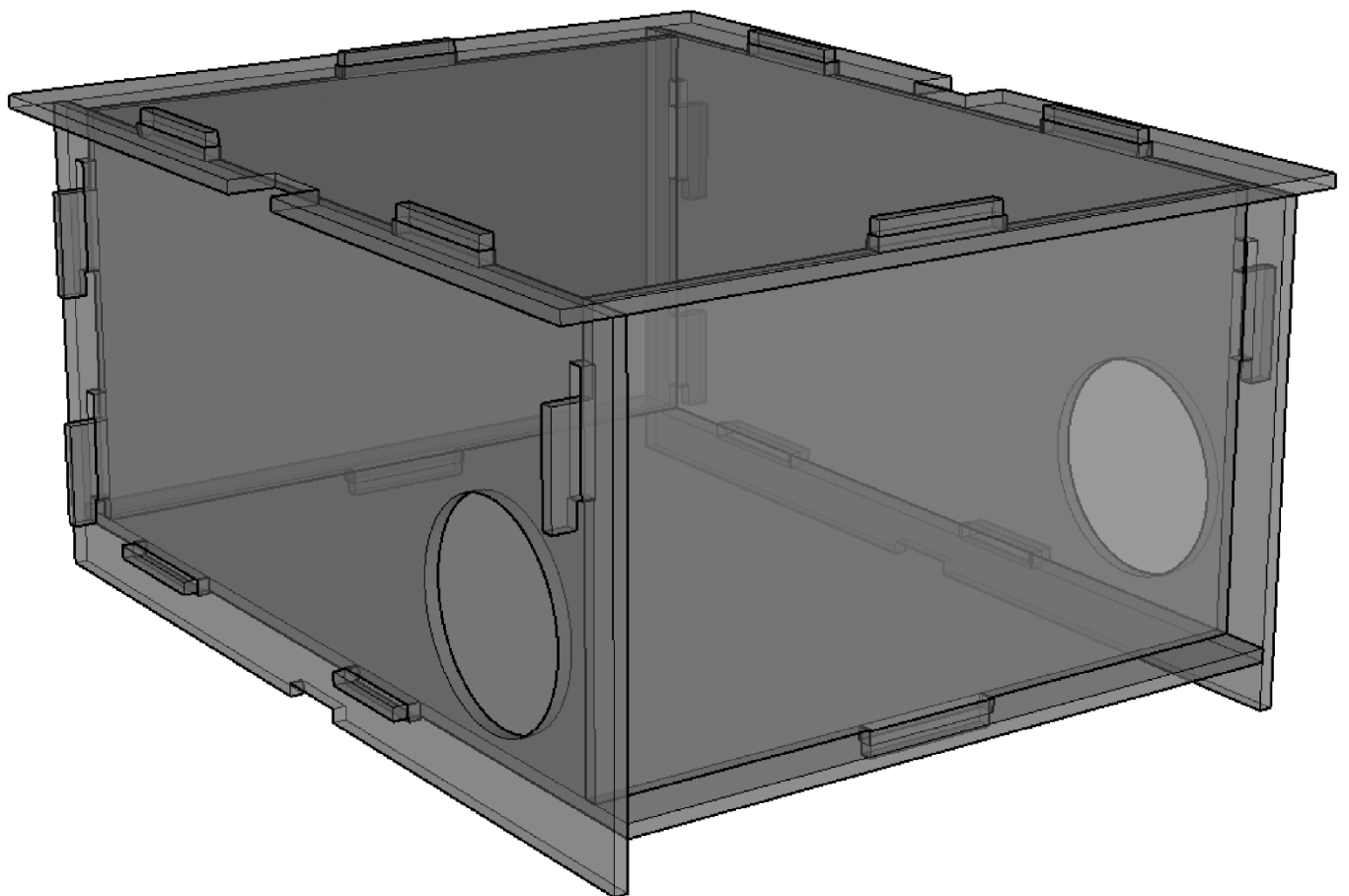
Prototyp 7, Seitenwand	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



Prototyp 7, Rückwand 1	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



Prototyp 7, Rückwand 2	[mm], Mst: 1: 2.5
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter



Prototyp 7, 3D-Ansicht	
Bachelorarbeit Silvio Aegerter	17.08.2019
ZHAW, Institut für Umwelt und natürliche Ressourcen	Zeichner: Silvio Aegerter

Anhang C – Fotografien der Prototypen



Mostela



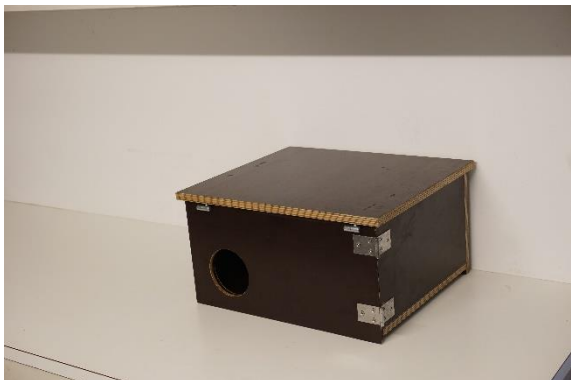
Prototyp 1 - Vorderseite



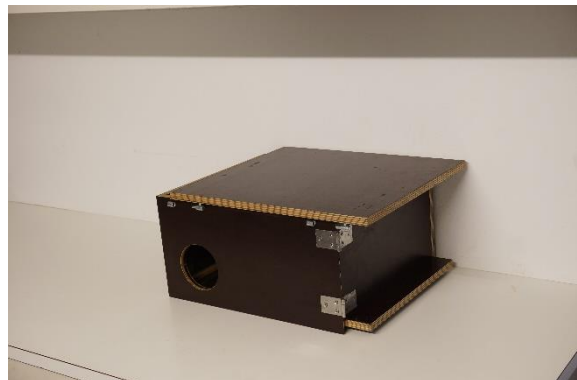
Prototyp 1 - Rückseite



Prototyp 2 - Vorderseite



Prototyp 2 - Rückseite



Prototyp 2 – Deckel und Boden bei Ausbau



Prototyp 2 – Ausbau Boden



Prototyp 2 – Bei Faltung



Prototyp 2 – Bei Faltung



Prototyp 2 - Transportform



Prototyp 3 - Vorderseite



Prototyp 3 - Rückseite



Prototyp 3 – Ausbau Deckel und Boden



Prototyp 3 – Bei Faltung



Prototyp 3 – Bei Faltung



Prototyp 3 – Transportform



Prototyp 4 – Vorderseite



Prototyp 4 - Rückseite



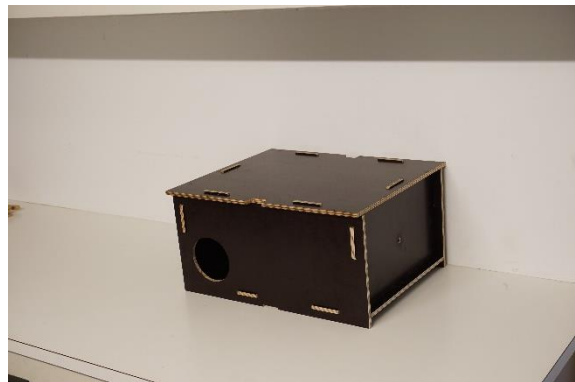
Prototyp 4 – ohne Deckel



Prototyp 4 - Transportform



Prototyp 5 – Vorderseite



Prototyp 5 – Rückseite



Prototyp 5 – Ohne Deckel



Prototyp 5 – Transportform



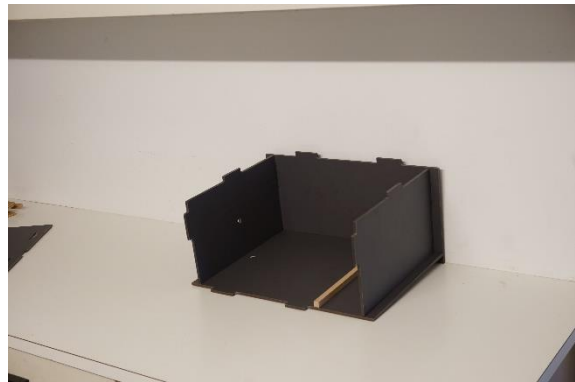
Prototyp 6 – Vorderseite



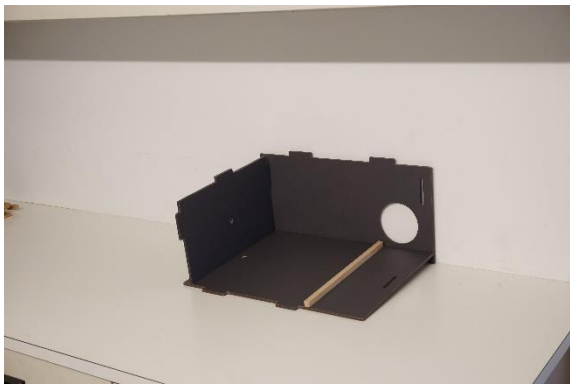
Prototyp 6 - Rückseite



Prototyp 6 – ohne Deckel



Prototyp 6 – ohne Seitenwand, ohne Deckel



Prototyp 6 – ohne Deckel, Seiten- und Rückwand



Prototyp 6 – Transportform



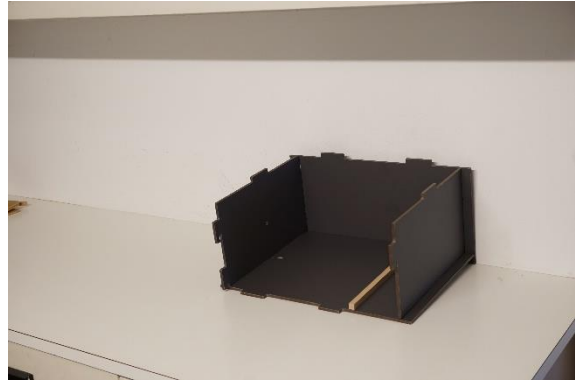
Prototyp 7 – Vorderseite



Prototyp 7 – Rückseite



Prototyp 7 – Ohne Deckel



Prototyp 7 – ohne Seitenwand und Deckel



Prototyp 7 - Transportform



Prototyp 5 – Im Feld, ohne Deckel



Prototyp 7 – Im Feld, ohne Deckel, neben
Spurentunnel

Erklärung betreffend das selbständige Verfassen einer Bachelorarbeit im Departement Life Sciences und Facility Management

Mit der Abgabe dieser Bachelorarbeit versichert der/die Studierende, dass er/sie die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst hat.

Der/die unterzeichnende Studierende erklärt, dass alle verwendeten Quellen (auch Internetseiten) im Text oder Anhang korrekt ausgewiesen sind, d.h. dass die Bachelorarbeit keine Plagiate enthält, also keine Teile, die teilweise oder vollständig aus einem fremden Text oder einer fremden Arbeit unter Vorgabe der eigenen Urheberschaft bzw. ohne Quellenangabe übernommen worden sind.

Bei Verfehlungen aller Art treten Paragraph 39 und Paragraph 40 der Rahmenprüfungsordnung für die Bachelor- und Masterstudiengänge an der Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften vom 29. Januar 2008 sowie die Bestimmungen der Disziplinarmassnahmen der Hochschulordnung in Kraft.

Ort, Datum:

Samstag, den 23.10.2019

Unterschrift:



Das Original dieses Formulars ist bei der ZHAW-Version aller abgegebenen Bachelorarbeiten im Anhang mit Original-Unterschriften und -Datum (keine Kopie) einzufügen.